



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ricardo João Matos Serra

COMUNIDADE DE ENERGIA
RENOVÁVEL ENVOLVENDO
EDIFÍCIOS ESCOLARES E DE
SERVIÇO PÚBLICO

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Especialização em Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

julho de 2022



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMUNIDADE DE ENERGIA RENOVÁVEL ENVOLVENDO
EDIFÍCIOS ESCOLARES E DE SERVIÇO PÚBLICO

RICARDO JOÃO MATOS SERRA

Júri:

Prof. Dr. André Manuel dos Santos Mendes (presidente)

Prof. Dr. Humberto Manuel Matos Jorge (orientador)

Prof. Dr. Pedro Manuel Soares Moura (vogal)

julho de 2022

Agradecimentos

Em primeiro lugar, expresso o meu sincero agradecimento ao Prof. Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, por todo o trabalho de orientação nesta dissertação. Desde o início da dissertação, foi bastante presente e disponível.

Agradeço às pessoas que forma direta ou indireta me acompanharam neste percurso académico.

Quero agradecer aos meus amigos e colegas Rodrigo Gonçalves, Diogo Cardoso, João Fagundes que estiveram sempre presentes neste percurso, pelas experiências todas que passámos e pelas horas afincos a estudar, o meu sincero OBRIGADO e espero que a nossa amizade continue por muito mais anos, o que Coimbra junta, ninguém consegue separar!!!

À minha família, que me acompanharam neste caminho sinuoso, estiveram sempre lá nos bons e nos maus momentos, que tinham sempre uma palavra de conforto e motivação para conseguir enfrentar as adversidades todas. Aos meus pais, que sempre fizeram os possíveis e impossíveis para eu conseguir estudar e me formar, um grande abraço e beijo, por me tornarem a pessoa que sou hoje e por dizerem sempre para ir atrás dos meus sonhos e objetivos, vocês são e serão sempre os pilares da minha vida.

Ao meu irmão, que sempre foi um exemplo de pessoa a seguir, sempre que tinha um problema estava prontamente disponível através de uma chamada, para me ajudar a ultrapassá-lo e a dar-me conselhos, um OBRIGADO por me teres ajudado a ser quem sou.

Aos meus amigos de longa data Henrique, Tiago, Paulo, Gabriel, Moisés e a Margarida, um grande obrigado, por nos piores momentos da minha vida estarem sempre presentes, sempre prontos para me tirar de casa divertir e me ajudar em todos os momentos, nunca esquecerei o que vocês são para mim e o que fizeram por mim!!

E a ti, Anita, por estares sempre presente, nos bons e maus momentos, sempre com paciência e com uma palavra de amor e carinho, por estares sempre disposta a dizer que sim a todas as minhas aventuras e por percorreres a montanha-russa que é a minha vida, tu és a prova que o amor existe!! Um OBRIGADO!!

Resumo

A evolução da sociedade, o seu crescimento demográfico e o seu desenvolvimento tecnológico e económico, tornou a eletricidade um bem essencial, fazendo com que o consumo de energia elétrica aumentasse ao longo dos anos, para garantir esta oferta foram utilizados combustíveis fósseis na sua produção, uma opção não sustentável que gerou elevados níveis de poluição e uma crise climática.

Para colmatar esses problemas a União Europeia estabeleceu a Diretiva Europeia 2018/2001. Essa diretiva permite aos autoconsumidores de energia renovável produzir, consumir, partilhar, armazenar e vender eletricidade, promovendo diversos comportamentos sustentáveis como redução na fatura energética, a redução das emissões de CO_2 , combate à pobreza energética e consequentemente a redução no custo do investimento inicial.

A presente dissertação tem como objetivo desenvolver diversas metodologias de definição dos coeficientes de partilha de energia produzida numa Comunidade de Energia Renovável (CER) e estabelecer comparações do seu desempenho na CER. Os coeficientes de partilha são percentagens de energia que cada membro da CER recebe a cada 15 min. A CER usada como estudo de caso nesta dissertação é composta por dois estabelecimentos escolares de Coimbra e pelo edifício do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC). Numa análise preliminar dos consumos de cada edifício, realizou-se várias simulações para descobrir qual seria a melhor localização da produção na CER, tendo essa escolha recaído na escola 1. Foram desenvolvidos cinco métodos para definição dos coeficientes de partilha da energia excedentária produzida pela CER pelos membros da mesma.

Na chave 1, coeficiente fixo, é atribuída uma percentagem fixa de partilha de energia, na chave 2 os coeficientes de partilha são proporcionais ao consumo de cada utilizador, ou seja, membros que tenham maior consumo recebem uma maior percentagem de energia. Já as chaves 3, 4, 5 têm todas a mesma filosofia de partilha de energia, seguem uma lista de prioridades, sendo a partilha de energia feita servindo os mais prioritários até esgotar a energia ou todos os membros da lista vejam as suas necessidades de consumo satisfeitas.

De acordo com os resultados obtidos foi possível concluir que a melhor chave ou a chave mais benéfica para esta a CER em particular seria a chave 3, por gerar menos energia excedentária não utilizada e mesmo assim ter uma boa equidade, ou seja, é a energia efetivamente utilizada anualmente pelos membros da CER, um membro, neste caso, utiliza 58% e outro 42%.

Em suma, para se escolher a chave de repartição que otimiza a partilha da energia excedentária numa comunidade, devemos ter em consideração a comunidade, visto que, cada chave tem as suas vantagens e desvantagens e a sua utilização varia de acordo com a CER.

Palavras-Chave: Comunidade de energia, Autoconsumo Coletivo, Autoconsumo, Chaves de repartição, Energias Renováveis

Abstract

The evolution of society, its demographic growth, and its technological and economic development made electricity an essential good, causing the consumption of electricity to increase over the years, to guarantee these supply fossil fuels were used in its production an unsustainable option that has generated high levels of pollution and a climate crisis.

To address these problems, the European Union established the European Directive 2018/2001. This directive allows renewable energy self-consumers to produce, consume, share, store and sell electricity, promoting various sustainable behaviors such as reducing energy bills, reducing CO_2 emissions, combating energy poverty, and consequently reducing the cost of energy. initial investment.

This dissertation aims to develop different methodologies for defining the sharing coefficients of energy produced in a Renewable Energy Community (REC) and to establish comparisons of their performance in the REC. Sharing coefficients are percentages of energy that each REC member receives every 15 min. The REC used as a case study in this dissertation is composed of two schools in Coimbra and the Department of Electrical Engineering and Computers (DEEC) building. In a preliminary analysis of the consumption of each building, several simulations were carried out to find out which would be the best location of production in the REC, having that choice fell on school 1. Five methods were developed to define the coefficients of sharing the surplus energy produced by the REC by its members.

In key 1, fixed coefficient, a fixed percentage of energy sharing is assigned, in key 2 the sharing coefficients are proportional to the consumption of each user, that is, members who have higher consumption receive a greater percentage of energy. Keys 3, 4, and 5 all have the same energy sharing philosophy, they follow a list of priorities, with energy sharing being done by serving the highest priorities until they run out of energy, or all members of the list see their consumption needs. satisfied.

According to the results obtained, it was possible to conclude that the best key or the most beneficial key for this REC would be key 3, as it generates less unused surplus energy and still has good equity, that is, it is energy effectively used annually by REC members, one member, in this case, uses 58% and another 42%.

In short, to choose the distribution key that optimizes the sharing of surplus energy in a community, we must consider the community, since each key has its advantages and disadvantages, and its use varies according to the REC.

Keywords: Energy Community, Collective Self-Consumption, Self-Consumption, repartition keys, Renewable Energies

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xi
Lista de Siglas	xiii
Capítulo I – Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
Capítulo II – Estado da arte	3
2.1. Transição energética	3
2.2. Autoconsumo.....	5
2.2.1. Definições	5
2.2.2. Partilha de energia	7
2.2.3. Direitos e Deveres consagrados no regulamento	9
2.3. Comunidade de energia	10
Capítulo III – Métodos para partilha de energia.....	14
3.1. Chave de parilha fixa ou estática	14
3.2. Chave de partilha proporcional ao consumo	15
3.3. Chave de partilha segue uma lista de prioridade	16
Capítulo IV – Caracterização do estudo de caso	19
4.1. Caracterização dos edifícios.....	19
4.2. Escolha da localização da produção para a comunidade	22
Capítulo V – Análise e discussão de resultados.....	23
5.1. Modelo de chave 1 – Partilha com coeficientes fixos.....	23
5.2. Modelo de chave 2 – Partilha proporcional ao consumo	26
5.3. Modelo de chave 3 – Partilha segue uma lista de prioridade a energia.....	27
5.4. Modelo de chave 4 – Partilha segue uma lista de prioridade com limite em função do consumo	28
5.5. Modelo chave 5 – Partilha segue uma lista de prioridade com limite em função da energia a partilhar	29
5.6. Análise comparativa dos resultados das chaves	30
5.7. Prós e contras das chaves de repartição.....	32
Capítulo VI – Conclusão e Desenvolvimentos futuros	34
6.1. Conclusão.....	34
6.2. Desenvolvimentos futuros.....	35
Referências Bibliográficas	36

Lista de figuras

Figura 2.1 - Autoconsumidor individual	5
Figura 2.2 - Diferentes tipos de AC coletivo: (a)-em rede interna; (b)-com uso da rede elétrica de serviço público; (c)-em rede interna com armazenamento	6
Figura 2.3- Arquitetura típica de uma comunidade de energia renovável	7
Figura 2.4 - Contrato e transações de energia de um autoconsumidor coletivo.....	12
Figura 3.1 - Fluxograma do modo de funcionamento da chave de repartição fixa.....	15
Figura 3.2 - Fluxograma do modo de funcionamento da chave de repartição proporcional ao consumo.....	16
Figura 3.3 - Fluxograma do modo de funcionamento da chave de partilha segue uma lista de prioridade, mas impõe um limite máximo em função do consumo	17
Figura 3.4 - Fluxograma do modo de funcionamento chave de partilha segue uma lista de prioridade, mas impõe um limite máximo em função do total de energia da CER.....	18
Figura 4.1 - Diagrama anual de potência média e máxima da escola 1.....	20
Figura 4.2 - Diagrama anual de potência média e máxima da escola 2.....	20
Figura 4.3 - Diagrama anual de potência média e máxima do DEEC.....	21
Figura 4.4- Diagrama anual de consumo mensal pelos diferentes edifícios da CER.	21
Figura 4.5 - Comparação da produção de excedentes entre a escola 1 e 2 para uma potência instalada de 150kWp	22
Figura 5.1.1 – Energia não utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 50/50	24
Figura 5.1.2 - Energia não utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 40% para o DEEC e 60% para a escola 2.....	24
Figura 5.1.3 - Energia não utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 30% para o DEEC e 70% para a escola 2.....	24
Figura 5.1.4 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 50/50	25
Figura 5.1.5 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 40% para o DEEC e 60% para a escola 2.....	25
Figura 5.1.6 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 30% para o DEEC e 70% para a escola 2.....	25
Figura 5.2.2 – Energia não utilizada por cada edifício, utilizando a chave 2.....	26
Figura 5.2.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 2	27
Figura 5.3.1 – Energia total não alocada, utilizando a chave 3.....	27
Figura 5.3.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 3	28
Figura 5.4.1 - Energia total não alocada, utilizando a chave 4.....	28
Figura 5.4.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 4	29
Figura 5.5.1 – Energia total não alocada, utilizando a chave 5.....	30
Figura 5.5.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 5	30

Lista de tabelas

Tabela 1 - Produção de excedentes mensal	22
Tabela 2- Distribuição de energia por cada percentagem de energia.....	23
Tabela 3 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 2	26
Tabela 4 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 3	27
Tabela 5 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 4	28
Tabela 6 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 5	29
Tabela 7 - Distribuição de energia não utilizada pela CER por chave e por mês	31
Tabela 8 - Distribuição de energia utilizada pela CER por chave e por mês.....	31
Tabela 9 - Energia efetivamente utilizada pelo DEEC	32

Lista de Siglas

AT – Alta Tensão

BT – Baixa Tensão

BTE – Baixa Tensão Especial

CdR - Chave de Repartição

CER – Comunidade de Energia Renovável

CIEG – Custos de Política Energética, de Sustentabilidade e de Interesse Económico Geral

CUR – Comercializador de Último Recurso

DEEC – Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

EGAC – Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

IC – Instalação de consumo participante em autoconsumo

IPr – Instalação de produção de eletricidade para autoconsumo

MAT – Muito Alta Tensão

MPGGS – Manual de Procedimentos da Gestão Global do Sistema

MT – Média Tensão

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

kWp – Quilowatt-pico

ORD – Operador de Rede de Distribuição de eletricidade

ORT – Operador da Rede de Transporte de Eletricidade

PRR – Plano de Recuperação e Resiliência

RARI – Regulamento de Acesso às Redes e às Interligações

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

RND - Rede nacional de distribuição de eletricidade

RNT - Rede nacional de transporte de eletricidade

RRC – Regulamento de Relações Comerciais dos setores elétrico e do gás

SEN – Sistema Elétrico Nacional

UE – União Europeia

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

Capítulo I – Introdução

1.1. Motivação

A evolução da sociedade, o seu crescimento demográfico e o seu desenvolvimento tecnológico e económico, tornou a eletricidade um bem essencial. O aumento da qualidade de vida exponenciou, de modo proporcional, o consumo de energia elétrica ao longo dos anos. Para garantir esta oferta de eletricidade foram utilizados combustíveis fósseis na sua produção, uma opção não sustentável que gerou elevados níveis de poluição e uma crise climática.

Com o aumento da consciencialização da sociedade para os problemas ambientais causados pela crescente utilização de recursos não renováveis foi necessário procurar soluções que mitiguem ou diminuam estes mesmos problemas.

As Nações Unidas procuram nas energias renováveis uma solução viável para combater estes problemas, pretendem reduzir as emissões de CO_2 de acordo com os compromissos do tratado de Paris, de modo a limitar o aumento do aquecimento global em $1,5^\circ$ Celsius, em comparação com os níveis pré-industriais.

Para atingir esse objetivo, a União Europeia (UE) desenvolveu o pacote de medidas intitulado “Energia Limpa para todos os Europeus” baseando-se em três objetivos principais: dar prioridade à eficiência energética, alcançar a liderança mundial em energia de fontes renováveis e estabelecer condições equitativas para os consumidores [1]. Um dos objetivos principais deste pacote é a promoção da utilização de energia de fontes renováveis, que reflete a importância do autoconsumo de energia renovável, seja ele individual, coletivo ou em forma de comunidade de energia renovável.

O governo português de forma a cumprir com as metas europeias, o tratado de Paris e a neutralidade carbónica em 2050, desenvolveu o Plano Nacional de Energia-Clima 2021-2030, onde pretende atingir uma quota de 47% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo bruto em 2030, promovendo a disseminação da produção descentralizada de eletricidade. Para alcançar essa meta será necessária uma produção mínima de 80% energia elétrica a partir de renováveis [2]. No âmbito do programa XXIII, o governo assume as seguintes metas [3]:

- Reduzir até 2030, 55 % as emissões dos gases de efeito de estufa.
- Alcançar uma meta de produção de 80% de eletricidade através das energias renováveis até 2026, antecipando em 4 anos a meta pré-estabelecida.
- Reduzir em 40% as emissões no setor dos transportes e mobilidade.

De modo a cumprir estas metas o governo desenvolveu regulamentação e legislação para a promoção do autoconsumo, baseando-se na Diretiva Europeia 2018/2001. Essa diretiva permite aos autoconsumidores de energia renovável produzir, consumir, partilhar, armazenar e vender eletricidade, promovendo diversos comportamentos sustentáveis como redução na fatura energética, a redução das emissões

de CO_2 , combate à pobreza energética e consequentemente a redução no custo do investimento inicial.

1.2. Objetivos

Tendo em consideração os consumos energéticos dos membros pertencentes à comunidade de energia e a capacidade que esta mesma comunidade consegue instalar, a dissertação tem como objetivo desenvolver diversas metodologias de partilha de energia produzida em CER e identificar qual a chave que melhor otimiza a quantidade de energia produzida localmente que é consumida na CER, para que assim seja também otimizada a poupança associada à utilização da Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC), devido ao custo evitado na compra de energia ao comercializador.

Foram analisados dados fornecidos acerca do consumo de duas escolas do concelho de Coimbra e um edifício público, que se associam para constituir uma CER. Após uma breve análise de dados determinou-se qual seria o local de produção da comunidade. Posteriormente com a ajuda das ferramentas de simulação *Matlab* e *Excel* foram criadas as diferentes metodologias de definição das chaves de partilha.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, sendo o primeiro capítulo a dedicado a uma breve introdução.

O segundo capítulo, sobre o estado da arte, apresenta uma breve introdução da motivação que despoletou a transição energética. De seguida, será explicado em que consiste o autoconsumo individual e coletivo e alguma legislação que regulamenta esta área. Por fim, são apresentadas as CER e sua importância para a facilitação de integração de produção de eletricidade a partir de fonte renovável.

O terceiro capítulo, sobre o estudo de caso, onde é feita uma caracterização dos consumos dos edifícios e da produção admissível para uso em autoconsumo coletivo.

No capítulo quatro, sobre as diferentes metodologias de definição de chaves de partilha, é feita uma explicação de como foram desenvolvidos os diferentes métodos e quais as características de cada um, identificando as vantagens e desvantagens.

No quinto capítulo, sobre a análise de resultados da aplicação dos diferentes métodos de chaves de partilha, onde são apresentadas as características de cada um deles e de que forma cada um é mais ou menos adequado para usar numa CER específica.

Por fim, vem o capítulo seis onde são apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido.

Capítulo II – Estado da arte

2.1. Transição energética

A produção de energia elétrica resultante da conversão de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, durante décadas, contribuiu para alterações climáticas causadas pela emissão de gases de efeito de estufa e poluição atmosférica, o que aumenta de forma progressiva a temperatura do planeta.

Para combater o aquecimento global, em Paris, foi assinado um acordo internacional em 2015, onde participaram quase todas as nações do mundo, assumindo a necessidade de descarbonização das respectivas economias de forma a travar o aquecimento global. Neste acordo foi aprovado uma meta para limitar o aumento do aquecimento global a 1,5 ° Celsius, em comparação com os níveis pré-industriais [4],[5].

Com a transição energética, associada aos tempos que correm, procura-se combater as consequências das alterações climáticas provocadas pela poluição e convergir na neutralidade carbónica. A união europeia estando na vanguarda, estipulou o ano de 2050 como meta para atingir essa neutralidade [3],[5].

Uma das formas para efetuar a transição energética é a substituição de centrais que utilizam como fonte de energia os combustíveis fósseis, por centrais que sejam baseadas em recursos renováveis. A energia proveniente de fontes renováveis, como a eólica e a fotovoltaica, é uma energia limpa, ou seja, a sua utilização na produção de energia não liberta quaisquer tipos de emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Para uma descarbonização mais eficaz também é necessário aumentar a automatização para melhorar a eficiência energética e converter outros setores, como por exemplo, o dos transportes, muito dependente de combustíveis derivados do petróleo.

De modo a respeitar o acordo de Paris e cumprir as metas impostas pela união europeia referentes à neutralidade carbónica, o governo português pretende alcançar uma quota de 47% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo bruto e uma meta de 20% de energia renovável nos transportes até 2030, promovendo a disseminação da produção descentralizada de eletricidade. Para alcançar essa meta será necessária uma produção mínima de 80% de a eletricidade a partir de renováveis [2].

Além destas medidas, o governo português propõe acelerar a descarbonização da economia de acordo com o programa do governo XXIII, comprometendo-se a [3]:

- Realizar investimentos na ordem dos 610 milhões de euros, previstos no Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), no âmbito da eficiência energética: 300 milhões de euros destinados à eficiência energética dos edifícios residenciais, tendo especial atenção aos agregados familiares com menores rendimentos, e 310 milhões de euros alocados à eficiência energética dos edifícios de serviços do setor privado e da Administração Pública;
- Investir 715 milhões de euros, previstos no PRR, no âmbito da descarbonização da indústria;

- Reforçar a capacidade de produção elétrica dos parques eólicos existentes e fomentar sistemas híbridos, reduzindo a necessidade de construção de novas infraestruturas;
- Apostar na produção renovável offshore, consolidando e alargando o cluster industrial associado ao setor eólico;
- Fomentar a digitalização do sistema energético e o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes, criando melhores condições para o aumento significativo da eletrificação dos consumos dos diferentes setores de atividade;
- Fomentar o armazenamento de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis;
- Concretizar as interligações previstas;
- Promover a produção de biocombustíveis avançados e sintéticos, incluindo amónia e metanol verdes, contribuindo para a descarbonização do setor químico e petroquímico nacionais e para a descarbonização do setor dos transportes, nomeadamente no transporte aéreo e marítimo;
- Implementar a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios, aprovada em 2021, que inclui um roteiro com medidas e objetivos indicativos para 2030, 2040 e 2050 e a Estratégia Nacional de Longo Prazo para o Combate à Pobreza Energética 2021-2050, que pretende combater a pobreza energética, proteger os consumidores vulneráveis e integrá-los de forma ativa na transição energética e climática

Para garantir a transição energética, deve-se aumentar a produção de energia baseada em fontes renováveis e com base nesse crescimento, surgiu com especial ênfase a aposta na geração de dispersa ou distribuída.

A produção dispersa de um modo geral consiste na produção de energia elétrica de forma próxima dos consumidores finais, ou seja, a energia produzida é injetada na rede de distribuição da unidade consumidora ou na própria unidade [6].

A produção dispersa tem como vantagens, além de outras [7]:

- **Contribuir para a redução do efeito de estufa no planeta:** a produção dispersa utiliza fontes de energia renováveis.
- **Diminuir a dependência energética:** a produção dispersa diminui a necessidade de importação de energia, uma vez que é produzida localmente ou perto da área de consumo.
- **Reduzir as perdas de energia:** o transporte de energia a longas distâncias tem perdas energéticas. Na utilização da produção dispersa, a energia produzida não precisa de ser deslocada, o que reduz essas mesmas perdas.

2.2. Autoconsumo

O aumento da produção descentralizada de energia elétrica a nível europeu foi impulsionado em conformidade com a diretiva (UE) 2018/2001 [2]. A diretiva promove a utilização de energia de fontes renováveis que constituem uma parte fulcral no pacote de medidas necessárias para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, honrando o compromisso da União Europeia no âmbito do Acordo de Paris de 2015 [8]. Esta diretiva destaca a importância do autoconsumo de eletricidade renovável, oferecendo aos autoconsumidores de energia renovável a possibilidade de produzir, consumir, partilhar, armazenar e vender eletricidade [2].

2.2.1. Definições

O autoconsumo é a produção de energia renovável para consumo próprio também conhecida por UPAC. Existem dois tipos de autoconsumo: o individual e o coletivo [9].



Figura 2.1- Autoconsumidor individual [10].

No autoconsumo individual, o consumidor final produz energia renovável para consumo próprio, utilizando as próprias instalações, como ilustrado na figura 2.1. Esta energia pode ser armazenada ou vendida, desde que, não constitua a principal atividade económica do consumidor [9].

No autoconsumo coletivo, os autoconsumidores coletivos estão organizados em condomínios de edifícios, ou num grupo situado no mesmo edifício ou zona de apartamentos ou moradias (em relação de vizinhança próxima), unidades industriais, comerciais ou agrícolas, e demais infraestruturas localizadas numa área delimitada, que disponham de UPAC [9].

Os autoconsumidores coletivos devem obrigatoriamente nomear um técnico responsável, devidamente qualificado, e uma Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo (EGAC), a qual é encarregue da prática de atos de gestão operacional da atividade, incluindo a gestão da rede interna (se for esse o caso), a ligação com a Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) e articulação com os respetivos operadores, nomeadamente na partilha de produção e respetivos coeficientes, e no relacionamento comercial a adotar para os excedentes, podendo representar o autoconsumidor perante outras entidades [9].

Em suma, para a implementação de uma CER é necessária a constituição de uma EGAC, de modo a minimizar os impactos do autoconsumo no relacionamento comercial entre comercializadores e as instalações de utilização que os fornecem [9].

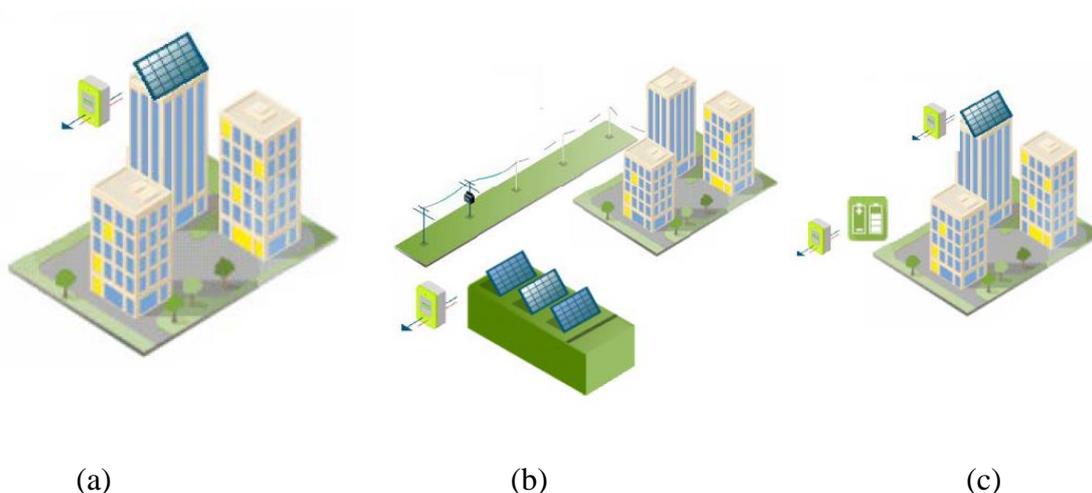


Figura 2.2- Diferentes tipos de AC coletivo: (a)-em rede interna; (b)-com uso da rede elétrica de serviço público; (c)-em rede interna com armazenamento [10].

O agregador é a entidade que estabelece por agregação a produção e/ou consumo de energia elétrica. A agregação é uma função desempenhada por uma pessoa coletiva ou singular, que pode ou não ser um comercializador, agregando a eletricidade consumida, produzida ou armazenada de vários clientes para venda ou compra em mercados de energia ou de serviços de sistema [9].

Como estabelecido no Regulamento n.º 8/2021, o armazenamento de energia é o adiamento da utilização final de eletricidade, para utilizar posteriormente à sua produção, com recurso a um dispositivo de armazenamento integrado em autoconsumo [9].

Comercializador é a entidade cuja atividade se baseia na compra e venda a grosso e/ou retalho de energia elétrica, em representação de terceiros ou em nome próprio, incluindo o Comercializador de Último Recurso (CUR) e os comercializadores em regime de mercado [9].

O excedente do autoconsumo é a energia a partilhar que não é consumida ou armazenada [9].

Uma CER nos termos do Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, é uma pessoa coletiva, com ou sem fins lucrativos, formada com base numa adesão aberta e voluntária dos seus membros, os quais podem ser pessoas coletivas ou singulares, de natureza pública ou privada, incluindo, pequenas e médias empresas ou autarquias locais, que seja autónoma dos seus membros ou sócios, mas por eles efetivamente controlada, desde que [9]:

- i) Os membros ou participantes estejam localizados na proximidade dos projetos de energia renovável ou desenvolvam atividades relacionadas com as mesmas;
- ii) Os referidos projetos sejam da autoria e desenvolvidos pela referida pessoa coletiva;

- iii) A pessoa coletiva tenha como principal objetivo promover aos membros ou às localidades onde opera a comunidade benefícios económicos, ambientais e sociais em vez de lucros financeiros;

Na figura 2.3, está representada uma arquitetura típica de CER, onde se representam os fluxos de energia e as relações comerciais que se estabelecem.

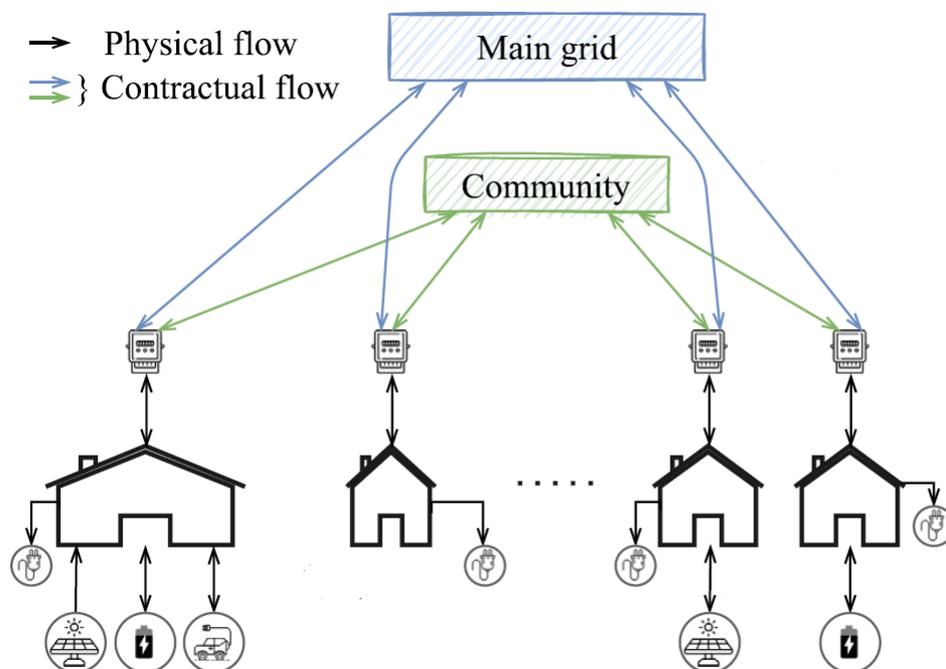


Figura 2.3- Arquitetura típica de uma comunidade de energia renovável [11]

2.2.2. Partilha de energia

A EGAC é responsável pela definição dos coeficientes de partilha no autoconsumo. Os coeficientes de partilha são os valores percentuais de energia que cada membro da CER recebe a cada período de 15 min [12].

O Operador de Rede de Distribuição de eletricidade (ORD) distribui a energia partilhada com os membros da CER de acordo com os coeficientes de partilha comunicados pela EGAC. Caso o excedente de energia utilize a RESP como meio de distribuir a energia excedentária, é necessário atribuir a cada instalação consumidora participante na CER um coeficiente de partilha. Para determinar qual é a instalação produtora é necessário imputar o excedente a cada instalação que injeta energia na rede [12].

O regulamento da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) sobre autoconsumo de Energia elétrica apenas contempla dois tipos de coeficientes, fixos ou proporcionais. A partilha de energia baseada em coeficientes fixos utiliza coeficientes de partilha fixos por cada período de 15 min e a partilha de energia baseada em coeficientes proporcionais é realizada de forma proporcional ao consumo a cada período de 15 min. Em caso de projetos piloto sobre a CER a ERSE pode aprovar regras de partilha diferentes

das que são contempladas neste regulamento [12]. Com base nesse pressuposto, na presente dissertação serão desenvolvidas regras de partilha diferentes e serão comparadas com as existentes.

Caso exista uma falta na entrega de coeficientes de partilha válidos para coeficientes fixos, por omissão da EGAC ou por outros fatores, o ORD informará a EGAC desse acontecimento e não iniciará a partilha até que receba coeficientes de partilha válidos [12].

São necessários pontos de medição obrigatória para se saber a quantidade de energia transacionada, dessa forma, é necessário existir pontos de ligação da – Instalação de consumo participante em autoconsumo (IC) e de Instalação de produção de eletricidade para autoconsumo (IPr) à rede interna ou à RESP e caso a UPAC tenha uma potência instalada superior a 4kW, tem de ser medida no ponto de ligação entre a UPAC e a instalação de consumo, para se saber qual a quantidade de energia injetada da UPAC para a IC. Nesses pontos de medição, são utilizados equipamentos de medição inteligente. A exploração, manutenção, funcionamento, e a substituição dos equipamentos são do encargo do ORD nos pontos de ligação anteriormente identificados [12].

O ORD, com base nas medições, determina ou mede diretamente do equipamento de medição tanto para a instalação de consumo como para a instalação de produção: o consumo medido, a injeção na rede, o excedente de energia da IC, excedente total atribuído à IPr e para a IC ainda são determinados a produção total da UPAC que integra uma IC, a energia atribuída a IC, consumo fornecido à IC pelo comercializador e a energia partilhada pela IC [12].

Na partilha de energia utilizando a RESP são aplicadas tarifas de acesso às redes. Essas tarifas são compostas por tarifas relacionadas com potência média em horas de ponta, definidos em Euros por Quilowatt (kW), por mês e tarifas de energia ativa, definidos em Euros por Quilowatt-hora (kWh), estes valores estão de acordo com o regulamento tarifário do setor elétrico [12].

O nível de tensão, o ciclo de contagem e os períodos tarifários a considerar nas tarifas de Acesso às Redes coincidem com as do consumo fornecido à IC, por um comercializador. As tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo que utilizam a RESP como forma de partilha resultam das tarifas de Acesso às Redes aplicáveis ao consumo dos níveis de tensão a montante do nível de tensão de ligação da IPr. Não são considerados para efeitos de Acesso às Redes situações de inversão do fluxo de energia na RESP para montante do nível de tensão de ligação da IPr. Por outro lado, quando a ligação da IPr se encontra num nível de tensão a jusante do nível de tensão de ligação da IC, as tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo correspondem às determinadas para a situação em que o nível de tensão de ligação da IPr é idêntico ao da IC. Os preços de potência contratada das tarifas de Acesso às Redes, em Muito Alta Tensão (MAT), Alta Tensão (AT), Média Tensão (MT) e Baixa Tensão Especial (BTE), a aplicar ao consumo fornecido à IC pelo comercializador, correspondem ao valor máximo de potência tomada do consumo medido na IC, dos 12 meses anteriores, incluindo o mês correspondente à fatura [12].

2.2.3. Direitos e Deveres consagrados no regulamento

Com base no Decreto-Lei n.º 162/2019 de 25 de outubro, é assegurado a cada consumidor final a oportunidade de se tornar autoconsumidor, tendo o direito de [9]:

- **Autoconsumo individual**
 - Cumprir o contrato de fornecimento e a escolha do comercializador;
 - Opção de venda ou cedência gratuita dos excedentes;
 - Isenção total de tarifas de acesso às redes, na energia produzida e autoconsumida dentro da instalação de utilização;
- **Autoconsumo coletivo em rede interna**
 - Manter, individualmente, os contratos de fornecimento e a escolha do comercializador;
 - Definir a percentagem de partilha da produção por cada participante;
 - Opção de venda dos excedentes de energia;
 - Isenção total de tarifas de acesso às redes, na energia produzida e autoconsumida [que circula na rede interna];
- **Autoconsumo coletivo com uso da rede elétrica de serviço público**
 - Manter, individualmente, os contratos de fornecimento e a escolha do comercializador
 - Definir a percentagem de partilha da produção por cada participante
 - Opção de venda dos excedentes de energia
 - Eventual isenção de Custos de Política Energética, de Sustentabilidade e de Interesse Económico Geral (CIEG) incluídos nas tarifas de acesso às redes, na energia produzida e autoconsumida [que circula na rede pública];
- **Autoconsumo coletivo em rede interna com armazenamento**
 - Manter, individualmente, os contratos de fornecimento e a escolha do comercializador;
 - Definir a percentagem de partilha da produção e do armazenamento por cada participante;
 - Opção de venda dos excedentes de energia;
 - Isenção total de tarifas de acesso às redes, na energia produzida ou armazenada e autoconsumida [que circula na rede interna];

De acordo com a legislação e regulamentação aplicáveis na produção de eletricidade para as várias modalidades de autoconsumo, os autoconsumidores são obrigados a cumprir as seguintes normas [9]:

- **Autoconsumo individual**
 - Licenciatar e garantir instalação por entidade credenciada;
 - Suportar eventuais encargos com contadores de consumo e produção;
 - Pagar as tarifas associadas ao consumo da rede faturado;
- **Autoconsumo coletivo em rede interna**
 - Definir um participante ou entidade independente como responsável (EGAC);
 - Licenciatar e garantir instalação por entidade credenciada;

- Suportar eventuais encargos com contadores de consumo e produção;
- Contrato de fornecimento para a UPAC [consumos próprios];
- Pagar as tarifas associada são consumo da rede faturado;

- **Autoconsumo coletivo com uso da rede elétrica de serviço público**
 - Definir um participante ou entidade independente como responsável (EGAC);
 - Licenciar e garantir instalação por entidade credenciada;
 - Suportar eventuais encargos com contadores de consumo e produção;
 - Contrato de fornecimento para a UPAC [consumos próprios];
 - Pagar as tarifas associadas ao consumo da rede faturado e à energia produzida e autoconsumida [que circula na rede pública];

- **Autoconsumo coletivo em rede interna com armazenamento**
 - Definir um participante ou entidade independente como responsável (EGAC);
 - Licenciar e garantir instalação por entidade credenciada;
 - Suportar eventuais encargos com contadores de consumo, produção e armazenamento;
 - Contratos de fornecimento para a UPAC e armazenamento;
 - Pagar as tarifas associadas ao consumo da rede faturado;

2.3. Comunidade de energia

Ao abrigo da legislação da UE e do Pacote de Energia Limpa da Comissão Europeia é reconhecido o direito dos consumidores e comunidades de se envolverem diretamente no setor da energia. Este pacote reconhece e estabelece estruturas legais para certas categorias de energia comunitária como as “comunidades de energia” [13].

As comunidades de energia estão assentes em duas leis distintas no Pacote de Energia Limpa. A primeira, a Diretiva do Mercado Interno de Eletricidade (UE) 2019/944 [14], introduz novas responsabilidades e novos papéis para as CER no sistema energético abrangendo todos os tipos de eletricidade e a segunda, a Diretiva de Energias Renováveis (UE) 2018/2001 [8], estabelece o quadro para CER que abrangem as energias renováveis.

As CER são descritas pelas diretrizes como um tipo de organização de ações coletivas dos cidadãos no sistema energético [15]. De acordo com a primeira lei, “as disposições das CER não excluem a existência de outras iniciativas resultantes de acordos privados” [14]. Ambas as diretrizes autorizam diferentes formas de organização das CER (cooperativa, associação e outras) por intermédio de uma pessoa jurídica.

De forma a garantir que as CER tenham igualdade ao operar no mercado, as diretivas enquadram-nas em critérios e atividades específicas [16], sem defraudar a concorrência ou renunciar a direitos e obrigações aplicáveis às restantes partes do mercado.

A CER é caracterizada pelos seguintes elementos [13]:

- **Governança:** A participação dos membros deve ser “aberta e voluntária”, ou seja, a participação em projetos de energia renovável deve ser aberta a todos os membros locais, segundo critérios não discriminatórios. A diretiva [14], reitera que a adesão deve ser aberta a todas as categorias de entidades e que “os clientes domésticos devem ter permissão para participar voluntariamente em CER, assim como por optar por não pertencer sem perder o acesso à rede operada pela CER”.
- **Propriedade e controlo:** Ambas as diretivas salientam que a participação e o controlo efetivo das CER devem ser efetuados pelos cidadãos, pequenas empresas e autoridades desde que a principal atividade económica não seja no setor da energia [16].
- **Objetivo:** Em vez de se focarem em lucros financeiros, o objetivo principal de uma CER é originar benefícios sociais e ambientais [16].

De forma a expandir as energias renováveis, a diretiva de energia renovável [8] impõe aos Estados-Membros da UE que forneçam uma estrutura que facilite e que conceda regimes de apoio às energias renováveis promovendo o desenvolvimento de CER.

Para além dessa estrutura, a CER pode gerar, distribuir, fornecer, agregar, consumir, armazenar e partilhar energia. Dependendo da atividade desenvolvida, a CER é obrigada a cumprir as obrigações e restrições aplicáveis aos demais participantes no mercado (geradores, distribuidores, fornecedores, agregadores) de forma proporcional e não discriminatória.

A nível nacional foi publicado o Decreto-Lei n.º 15/2022 de 14 de janeiro para se integrar as diretivas europeias na legislação nacional. Este decreto estabelece a organização e o funcionamento do Sistema Elétrico Nacional (SEN) transpondo as diretivas (UE) 2019/944 e 2018/2001. Com base nestas diretivas, é importante assegurar a mudança do paradigma do SEN, passando de um sistema assente em produção centralizada, para um modelo de produção descentralizada que inclua soluções de autoconsumo, produção local, a gestão ativa das redes inteligentes e que assegure a participação ativa dos consumidores nos mercados [17].

No âmbito do Decreto-Lei n.º 15/2022 de 14 de janeiro, uma CER necessita de realizar um registo prévio e certificado de exploração para exercer atividades de produção de eletricidade para potência instalada igual ou inferior a 1MW [16], necessita também que exista proximidade entre as UPAC e a(s) IC, ambas têm de estar ligadas por linha direta ou rede interna, ou operarem através da RESP nas condições seguintes para os diferentes níveis de tensão [17]:

- Quando a UPAC está ligada à rede de distribuição de energia em Baixa Tensão (BT), não deve distanciar-se geograficamente da IC mais de 2 Km, contudo, em alternativa, podem estar ligadas ao mesmo posto de transformação.
- Quando conectadas na mesma subestação, a UPAC ligada à - Rede nacional de distribuição de eletricidade (RND) e à Rede nacional de transporte de eletricidade (RNT) não deve ultrapassar a distância geográfica da IC de 4km no caso de uma ligação em MT, de 10 Km nas ligações em AT e 20km em MAT.

As entidades envolvidas no autoconsumo, no que diz respeito ao relacionamento comercial, como se pode verificar através da figura 2.4, compreendem o autoconsumidor, a EGAC, o ORT, o ORD, o comercializador e o agregador.

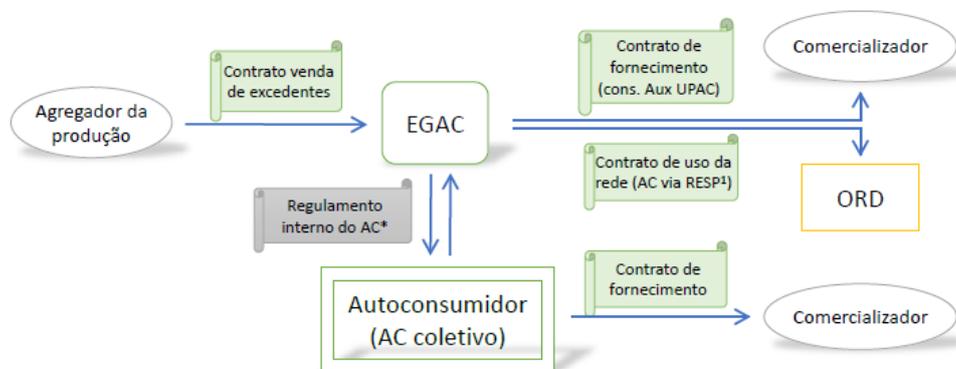


Figura 2.4- Contrato e transações de energia de um autoconsumidor coletivo [10].

O autoconsumidor deve ter um contrato de fornecimento ativo e deve-se assegurar que existe um contrato de fornecimento do consumo da unidade produtora, quando existem. O autoconsumidor coletivo ou CER tem direito de transacionar o excedente através de uma EGAC [12].

A EGAC está encarregue dos relacionamentos comerciais inerentes ao autoconsumo coletivo, transacionando o excedente total através de um agregador ou diretamente num mercado organizado ou por meio de um contrato bilateral e assegura a existência dos contratos de fornecimento à instalação de produção de autoconsumo [12].

O Operador da Rede de Transporte de Eletricidade (ORT) realiza os contratos com as entidades responsáveis pela integração de excedentes em mercado grossista e assegura os relacionamentos comerciais com a EGAC, bem como a recolha, tratamento e disponibilização de dados associados ao autoconsumo. O consumo fornecido pelo comercializador a uma instalação de consumo ou de produção de autoconsumo integra o respetivo contrato de uso de redes. O agregador é responsável pela integração dos excedentes que represente, em mercado grossista [12].

No relacionamento comercial entre a EGAC e ORD, a EGAC estabelece um contrato de uso das redes com o ORD, quando a configuração das instalações participantes no autoconsumo coletivo permite a possibilidade de ocorrer autoconsumo através da RESP. nestas situações a EGAC é responsável pelo pagamento ao ORD das tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo [12].

O relacionamento comercial entre o ORT e a entidade responsável pela integração do excedente em mercado, o excedente do autoconsumo pode ser transacionado, pelas seguintes modalidades:

- Através de agregador;
- Diretamente em mercado organizado ou através de contrato bilateral.

Quando o excedente não é transacionado, a energia em causa é contabilizada pelo ORD e considerada para a redução de perdas nas redes. Para efeitos de relação comercial

com o ORT, os proprietários das instalações que injetem excedentes na rede são equiparados a produtores. A entidade responsável pela integração dos excedentes do autoconsumo em mercado grossista necessita de se estabelecer como agente de mercado de acordo com os termos da regulamentação aplicável, nomeadamente os termos do Regulamento de Relações Comerciais dos setores elétrico e do gás (RRC) e do Manual de Procedimentos da Gestão Global do Sistema (MPGGS), particularmente no que diz respeito à apresentação da documentação relativa às unidades de produção e à responsabilidade relativa aos desvios à programação desses excedentes [12].

A faturação da tarifa de Uso da Rede de Transporte entre o ORT e a entidade responsável pela integração em mercado grossista do excedente do autoconsumo, é estabelecida através de um contrato de uso das redes aplicável a produtores, nos termos previstos no Regulamento de Acesso às Redes e às Interligações (RARI) [12]. Enquanto este contrato não é aprovado pelo RARI, enquadra-se na natureza de um contrato de adesão podendo integrar diversas instalações [12].

Os restantes acordos comerciais entre o ORT e a entidade responsável pela integração do excedente do autoconsumo em mercado grossista são enquadrados pelo contrato de adesão ao mercado dos serviços de sistema e regimentados pela legislação e regulamentação aplicáveis, nomeadamente o RRC. A suspensão ou cessação dos contratos referidos não prejudicam a partilha de energia [12].

No relacionamento comercial entre o autoconsumidor e o comercializador, a energia fornecida pelo comercializador a uma instalação de consumo ou de produção de autoconsumo engloba o respetivo contrato de uso de redes. O comercializador é responsável, nos termos do MPGGS, pela diferença da energia programada para o fornecimento dessa instalação e a energia verdadeiramente fornecida [12].

No relacionamento comercial entre o autoconsumidor individual, ou a EGAC, e o agregador, quando o autoconsumidor individual ou coletivo, no caso do coletivo a EGAC, opte por vender o excedente através de um agregador, a valorização do excedente é realizada de acordo com o que for negociado entre ambas as partes [12].

Capítulo III – Métodos para partilha de energia

Neste capítulo, irá ser abordada os diferentes métodos desenvolvidos para definição de coeficiente de partilha de energia na comunidade. Os métodos foram todos desenvolvidos com a ajuda da ferramenta *matlab*.

3.1.Chave de partilha fixa ou estática

A chave de repartição fixa ou estática consiste na definição do modo de partilha de energia para os participantes na CER com valores fixos ao longo do tempo, ou seja, a cada 15 min cada membro da comunidade é-lhe atribuída sempre a mesma percentagem da energia excedentária, como é possível ser analisado através da figura 3.1 [11]. Por exemplo, numa CER com dois participantes, se a um membro for atribuída 30% do excedente de energia, ao outro será atribuída os restantes 70%. A questão que se levanta nesta atribuição fixa é de se estar a dar prioridade a um consumidor em vez do outro e por outro lado estar a atribuir uma quantidade de energia a um consumidor que pode ser superior às suas necessidades, gerando excedente para a rede e como consequência essa energia não seria aproveitada pela CER. Esse excedente, por outro lado, poderia ser aproveitado por outro participante a quem lhe foi atribuído uma quantidade de energia inferior às suas necessidades de consumo.

Assim, a desvantagem desta chave de repartição é de a energia alocada a cada membro da comunidade poder não ser toda utilizada, fazendo com que a comunidade não maximize a utilização de todo o excedente produzido e gerar excedentes para a rede que poderiam ter sido usados por outros participantes.

Se se distribuir de igual forma o excedente de energia pelos participantes, a forma como se calcula a chave é:

$$CdR_{fixa} = \frac{1}{N} * E \quad (1)$$

N- Número total de membros da comunidade

E- Excedente de energia proveniente da produção da CER

Caso a CER opte, por definir várias percentagens para os diferentes membros, o gestor da CER tem de definir uma lista com as diferentes percentagens para cada participante.

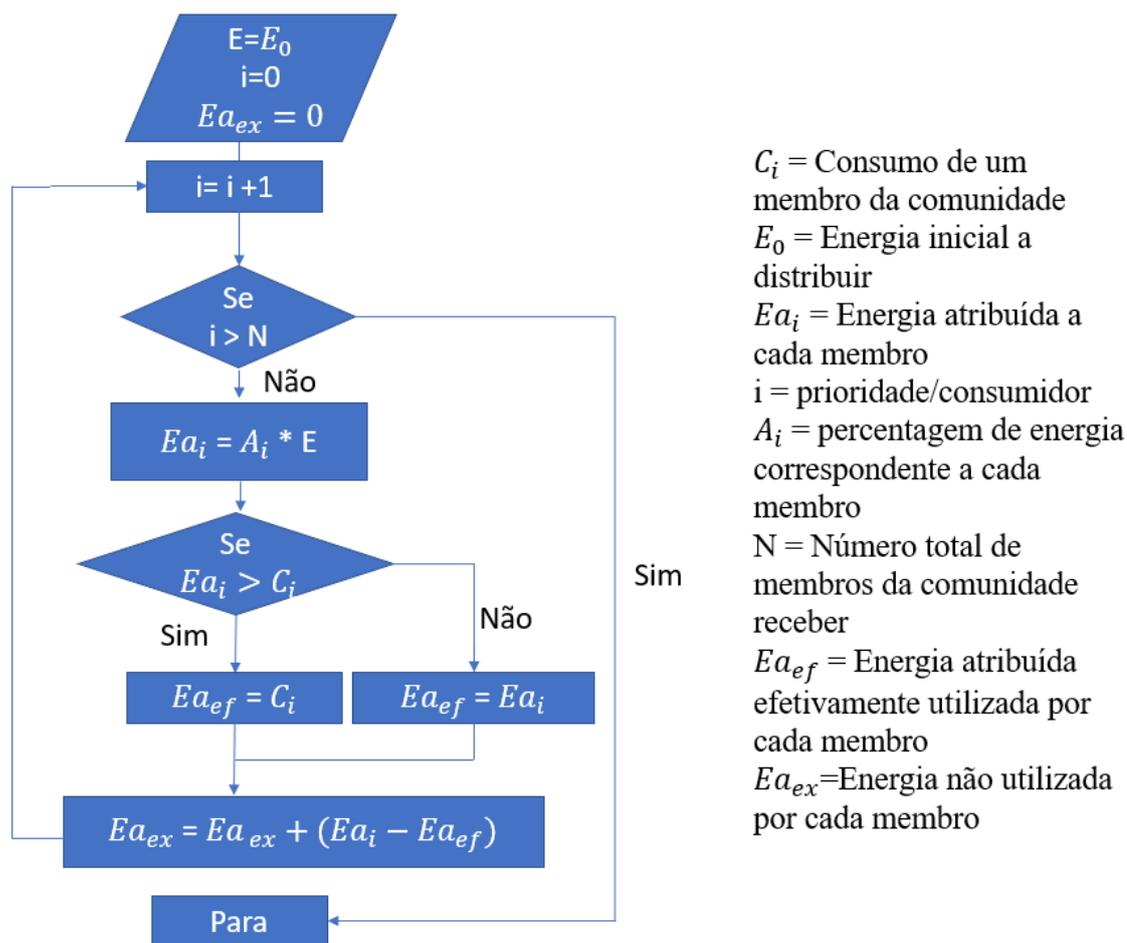


Figura 3.1 - Fluxograma do modo de funcionamento da chave de repartição fixa

3.2. Chave de partilha proporcional ao consumo

A chave de repartição proporcional ao consumo, tem como base o consumo de cada membro, ou seja, aos membros que tenham maior consumo ser-lhes-á alocada maior quantidade de energia em comparação com os membros que tenham menor consumo, onde é possível ser analisado na figura 3.2 [11]. Pode criar problemas de equidade na partilha de energia, mas por outro lado, minimiza o excedente não utilizado pela CER em comparação à Chave de repartição fixa (CdR_{fixa}).

A forma como se calcula esta chave é:

$$CdR_{proporcional} = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^N C_i} * E \quad (2)$$

C_i – Consumo de um membro da comunidade

N – Número total de membros da comunidade

E – Excedente de energia proveniente da produção da CER

No caso desta chave de repartição, um membro da comunidade, em situação de variação extrema do seu consumo em dois intervalos consecutivos de 15 min, por exemplo uma variação de 90%, pode ver a atribuição de energia variar também nessa ordem de grandeza.

Esta chave apresenta uma vantagem importante que é a garantia de maximizar a utilização da energia excedentária da comunidade, alocando a cada membro um valor proporcional ao seu consumo, se o participante tem consumo baixo aloca um valor baixo se tem consumo alto aloca um valor alto, evitando assim atribuir energia que não seja aproveitada pelo consumidor.

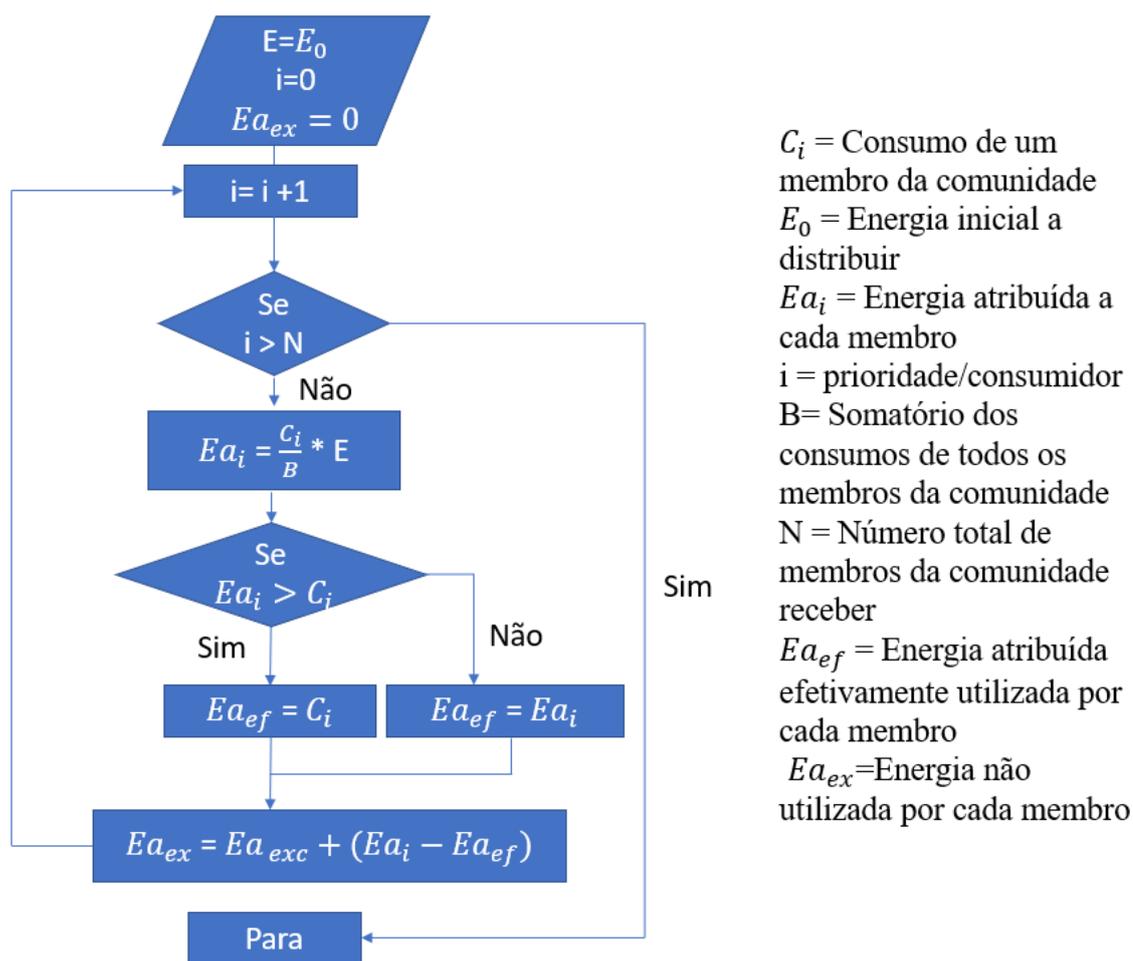


Figura 3.2 - Fluxograma do modo de funcionamento da chave de repartição proporcional ao consumo

3.3. Chave de partilha segue uma lista de prioridade

A chave repartição de energia que segue uma lista de prioridade, começa a distribuir energia pela instalação mais prioritária e vai servindo as instalações por ordem de prioridade até esgotar a energia excedentária da CER. Aloca ao primeiro membro da lista de prioridades toda a energia que este necessita e no caso de o excedente não ser todo utilizado vai servir o seguinte da lista e assim sucessivamente até esgotar toda a energia

disponível na CER ou servir todos os participantes. O algoritmo de partilha segue o representado na figura 3.3, colocando o limite β_1 a 100%.

Este modo de partilha traz como consequência que membros que estejam no fim da lista de prioridades possam não ter energia alocada, devido a ter sido alocada toda a energia disponível a membros com prioridade mais elevada.

Esta chave pode ter variantes que evitem um excessivo desequilíbrio na forma com distribuí a energia por toda a comunidade. Para isso devem ser definidos limites máximos na alocação de energia a cada membro da comunidade. Por exemplo, quando ao primeiro membro da comunidade em vez de lhe ser atribuída toda a energia de que necessita, se lhe impõe um limite máximo em função da energia total disponível na CER ou do seu consumo, por exemplo, pode definir-se um teto máximo de 60% do total da energia disponível na CER ou de 80% do seu consumo. Ou seja, mesmo que o 1º membro da lista tenha capacidade para receber toda a energia disponível da CER só lhe é atribuída 60%, sobrando assim ainda 40% da energia para atribuir a outros participantes da comunidade.

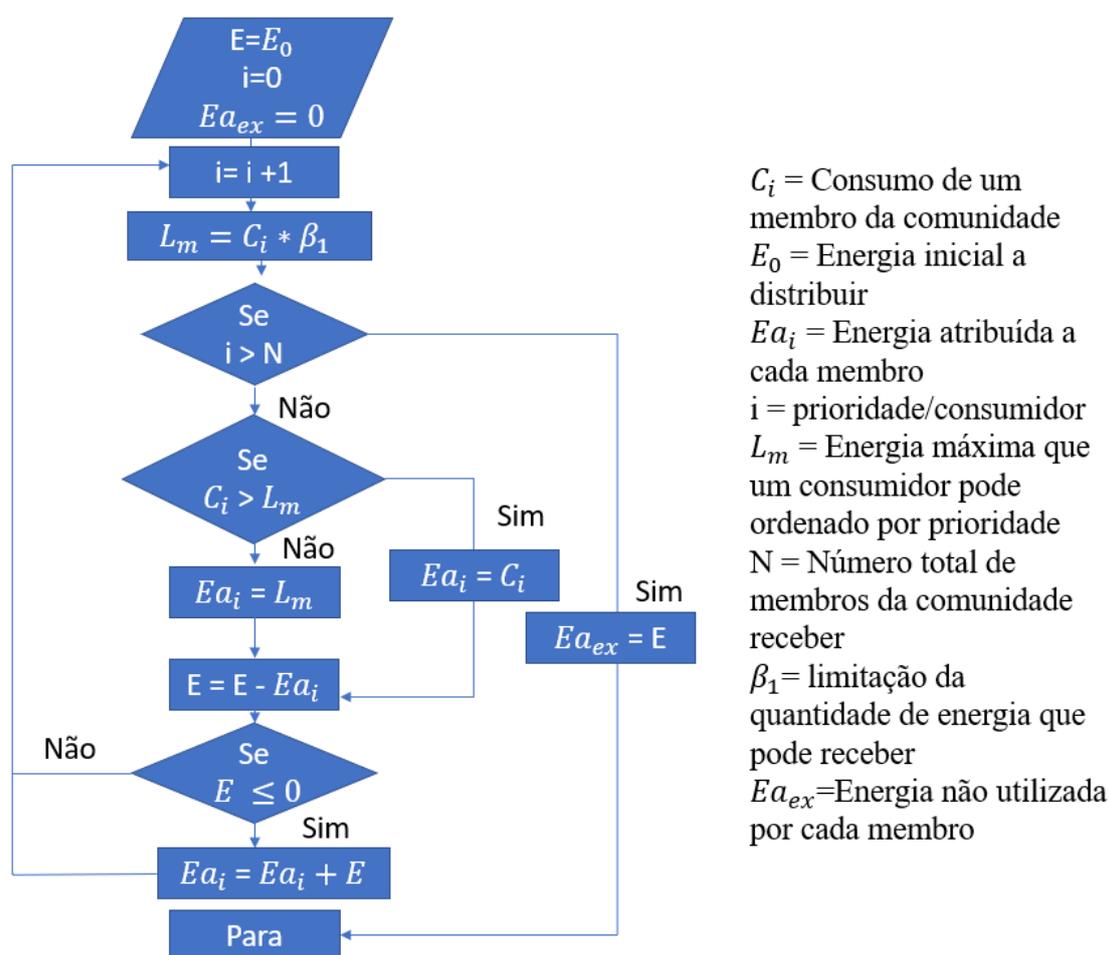


Figura 3.3 - Fluxograma do modo de funcionamento da chave de partilha segue uma lista de prioridade, mas impõe um limite máximo em função do consumo

Utilizando a mesma base da chave de repartição acima explicada, podemos realizar uma limitação com base na energia total disponível na CER, como se pode analisar através do fluxograma da figura 3.4, impondo esta limitação na energia a atribuir a cada

participante, por exemplo, cada membro só pode receber até 60% da energia total disponível.

O funcionamento da chave com esta limitação, ocorre da seguinte forma, só se pode atribuir até 60% dessa energia. O primeiro membro se tiver um consumo inferior aos 60% da energia disponível inicial, absorve a totalidade do seu consumo, se tiver superior fica limitada a esse valor. O processo repete-se até se servir todos os participantes ou se esgotar a energia disponível.

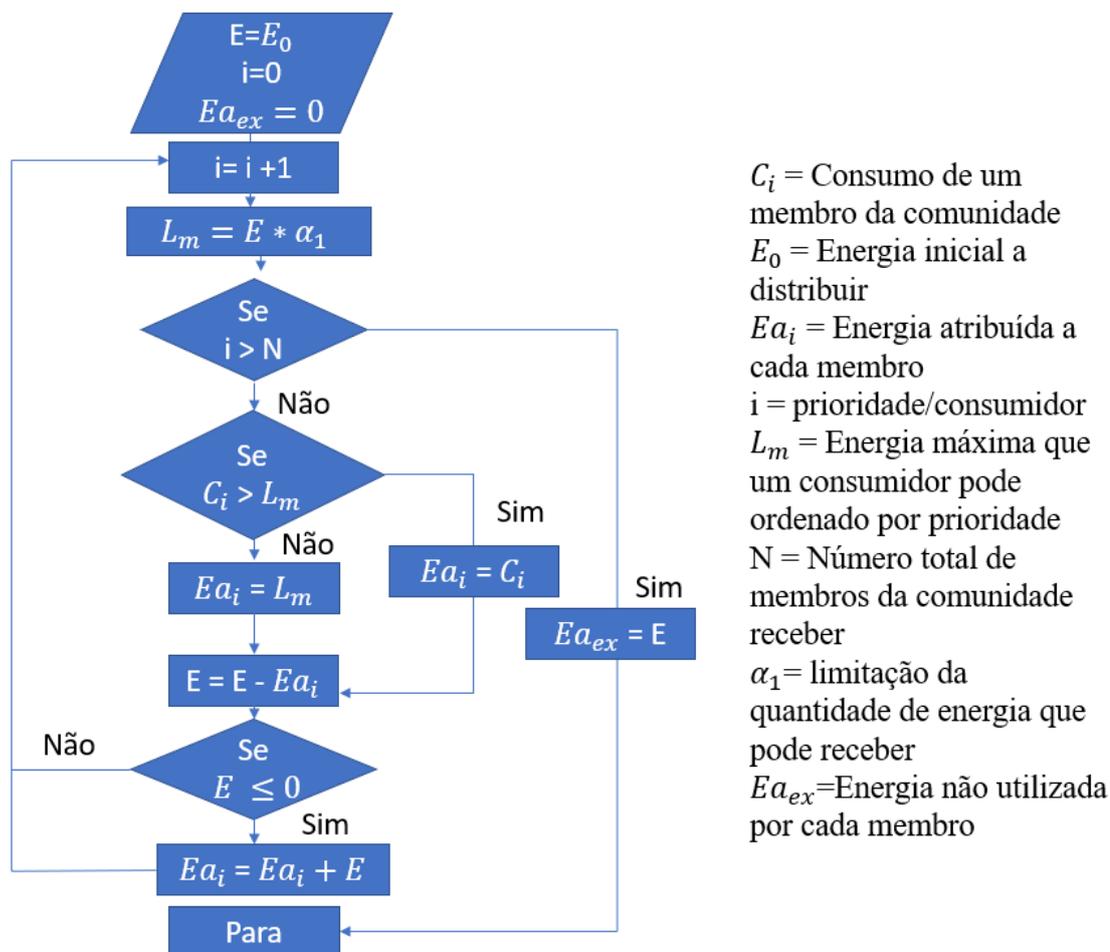


Figura 3.4 - Fluxograma do modo de funcionamento chave de partilha segue uma lista de prioridade, mas impõe um limite máximo em função do total de energia da CER.

As figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 são fluxogramas que explicam como foi realizada a implementação do código *matlab* para o desenvolvimento dos métodos de partilha.

Capítulo IV – Caracterização do estudo de caso

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso que serve de base para a presente dissertação.

Este estudo, está relacionado com um projeto ainda em fase inicial onde se pretende criar um projeto piloto de uma CER envolvendo edifícios escolares e de serviço público utilizando painéis solares fotovoltaicos como modo de produção de energia.

Os edifícios de serviço público que participarão neste projeto piloto ainda não foram selecionados, desta forma, foi utilizado o edifício do DEEC como edifício de serviço público para fazer parte da comunidade, para além de duas escolas secundárias situadas na zona de influência da CER.

Todos os dados utilizados neste caso de estudo são referentes ao ano 2019, por ser um ano não afetado pelos estados de emergência e confinamento, motivados pela pandemia que atravessou os anos de 2020 e 2021, que alteram muito o perfil de consumo dos edifícios.

Farão parte desta CER dois edifícios escolares de Coimbra, sendo um deles selecionado para instalação de produção fotovoltaica para a comunidade. Foram feitas simulações, considerando uma potência instalada de 150 kWp e os consumos de cada edifício, de modo a escolher qual seria o edifício que teria maior excedente de energia.

Um grande obstáculo em utilizar edifícios escolares como produtores é a limitação de potência instalada que se consegue instalar devido ao espaço. As escolas têm grandes dimensões, mas são as coberturas dos edifícios os locais mais adequados para a montagem dos painéis fotovoltaicos.

4.1. Caracterização dos edifícios

Como é possível analisar a partir do gráfico presente na figura 4.1, onde se apresenta para cada mês a potência máxima registada e a potência média da escola 1, a escola tem uma potência média mensal com alguma variação sazonal, apresentado menores potências no verão, sobretudo nos meses em que existem pausas letivas. Os meses com registo dos maiores valores máximos de potência correspondem aos meses de inverno, essa potência deve-se à utilização de equipamentos de aquecimento e aumento da utilização de iluminação, uma vez que, nesses meses existe menor quantidade de iluminação proveniente do exterior. Nos meses de verão, os valores máximos de potência são mais reduzidos que os meses de inverno, visto que não existe necessidade de utilizar esse tipo de equipamentos e utiliza-se menor quantidade de equipamentos de iluminação, devido a existir maior claridade no exterior e redução do número de utilizadores.

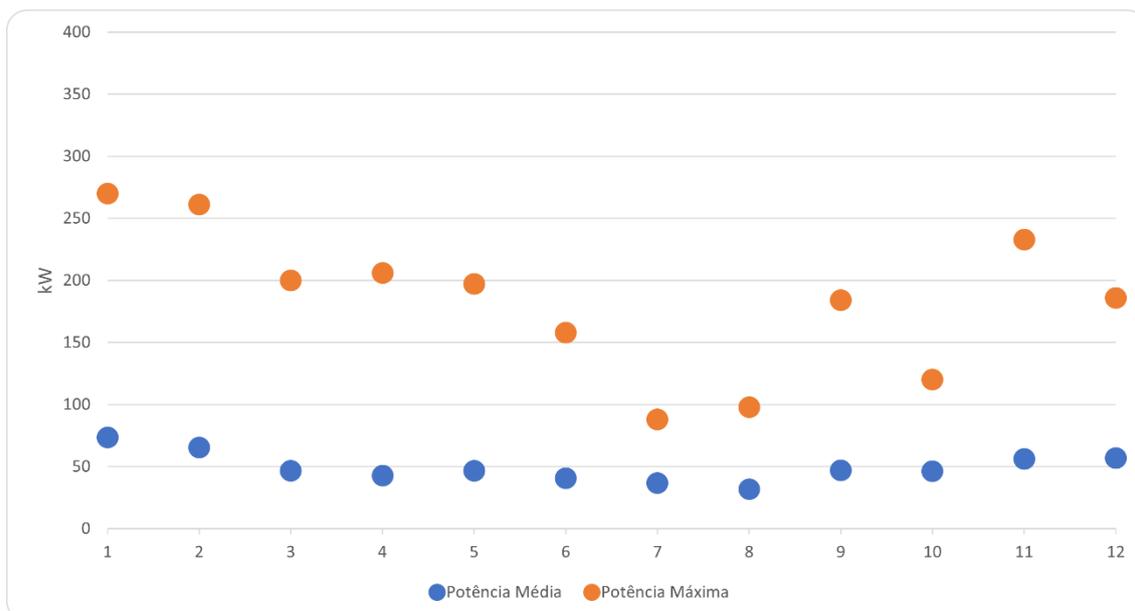


Figura 4.1- Diagrama anual de potência média e máxima da escola 1.

No gráfico da figura 4.2, estão representadas as potências médias e máximas mensais da escola 2. A escola 2 tem a particularidade de ter dois conjuntos de edifícios integrados no mesmo espaço e apresenta maior potência do que a escola 1. Como este conjunto de edifícios não se dedica exclusivamente a atividades de ensino, é utilizado também para atividades culturais, analisando a figura 4.2 denota-se que os meses que existem pausas letivas as suas potências máximas continuam elevados, no mês 7 (julho) até tem maior potência do ano inteiro devido às atividades culturais. A potência média é relativamente constante ao longo do ano, tendo os meses de inverno com uma potência superior aos restantes.

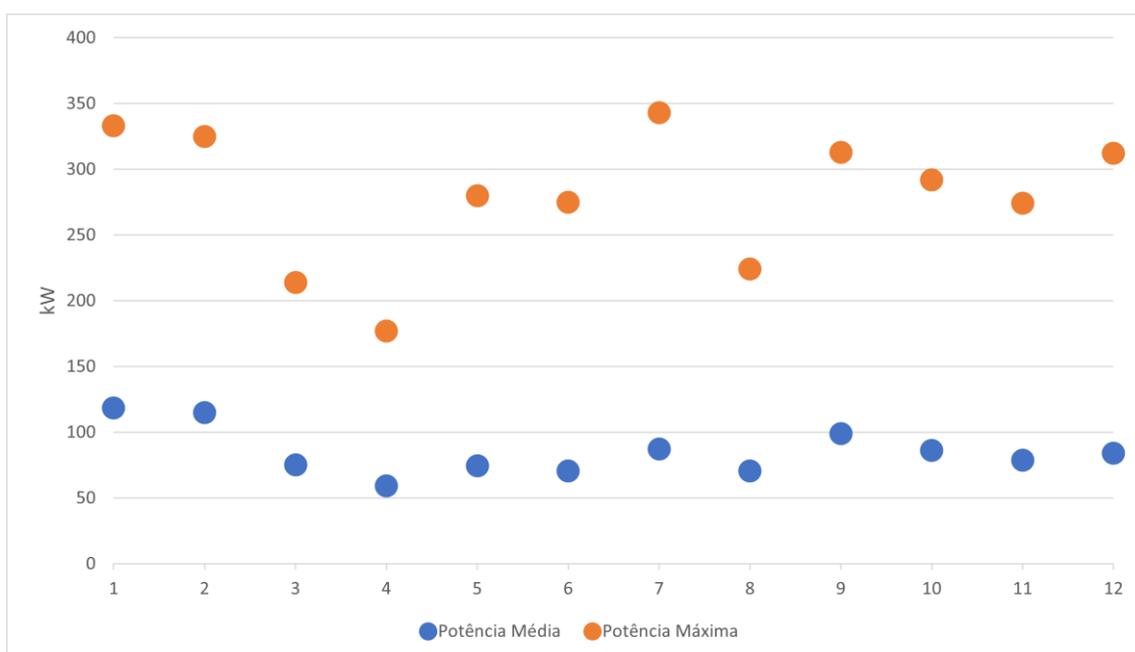


Figura 4.2 - Diagrama anual de potência média e máxima da escola 2.

Analisando o gráfico da figura 4.3, é possível verificar que as potências médias e máximas mensais do DEEC se comportam de maneira diferente que os outros estabelecimentos, apenas nos meses de inverno se verifica uma grande diferença entre eles, como é possível observar nos meses 1,2 e 12 (janeiro, fevereiro e dezembro), visto que são meses mais frios e sombrios e é necessário a utilização de mais equipamentos de aquecimento e iluminação que nos restantes meses, fazendo com que aumente a potência máxima desse mês. O edifício do DEEC apresenta um valor baixo de potência nos meses de verão devido, por um lado ao menor consumo do edifício nesses meses e à produção que tem instalada para autoconsumo que nos meses de verão apresenta produções mais elevadas, levando a que as necessidades de compra de energia sejam ainda menores nesta época.

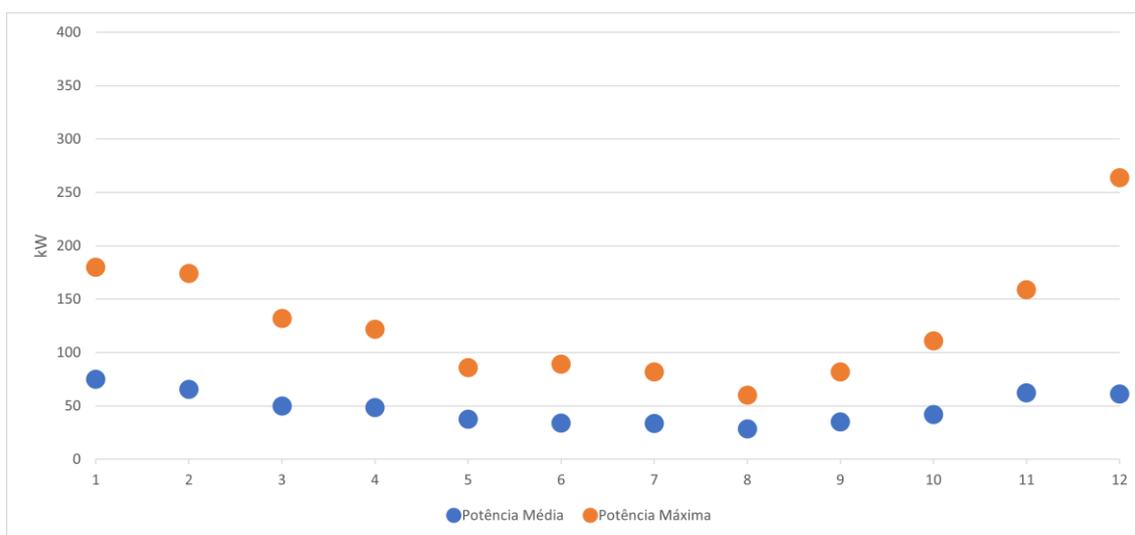


Figura 4.3 - Diagrama anual de potência média e máxima do DEEC.

Na figura 4.4 está apresentado os consumos de compra à rede mensais dos edifícios pertencentes à CER.

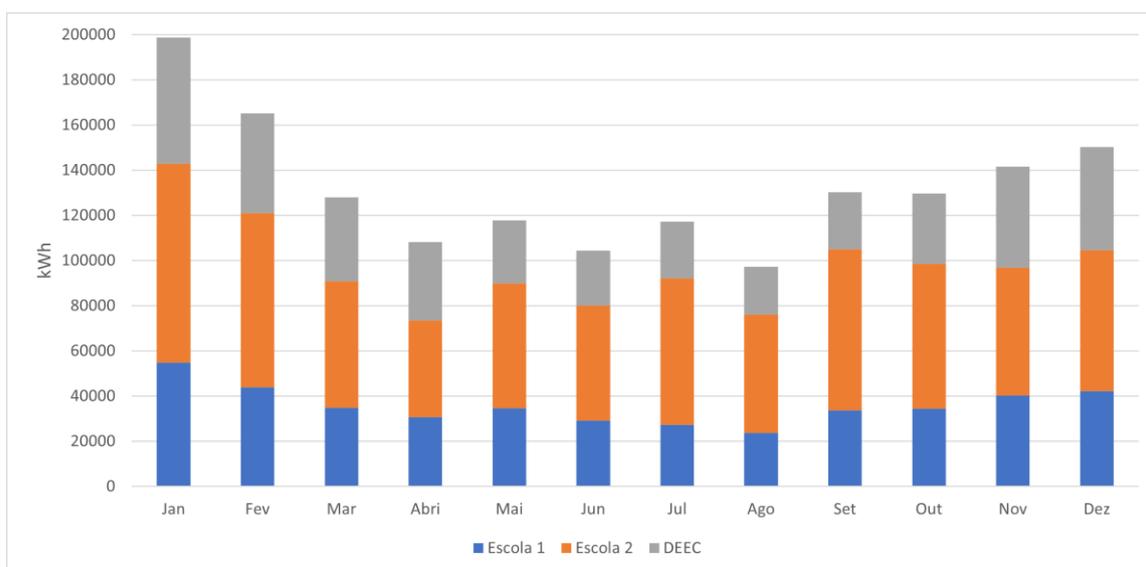


Figura 4.4 - Diagrama anual de consumo mensal pelos diferentes edifícios da CER.

4.2. Escolha da localização da produção para a comunidade

Devido à limitação do espaço e para não onerar o projeto, que pretende ser de demonstração com investimentos muito elevados para instalação dos sistemas de produção, realizaram-se várias simulações com diferentes potências instaladas de produção fotovoltaica e verificou-se que para uma potência de 150 kWp ter-se-ia um volume significativo de energia excedentária para distribuir pela CER, se fosse instalada na escola 1. Como se pode verificar através da figura 4.5 e da tabela 1, a localização na escola 1 gera muito mais excedentes que na escola 2, por isso, a escola 1 foi selecionada como instalação para a produção de energia para a CER.

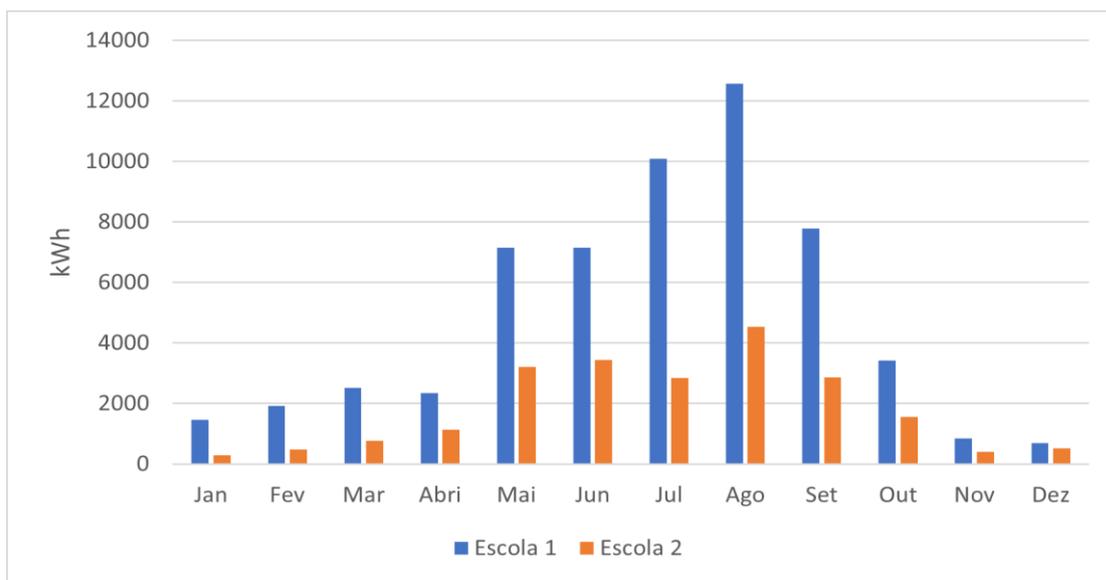


Figura 4.5- Comparação da produção de excedentes entre a escola 1 e 2 para uma potência instalada de 150kWp

Tabela 1 - Produção de excedentes mensal

	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Escola 1	5868	7727	10104	9358	28581	28573	40401	50302	31110	13697	3360	2757
Escola 2	1146	1901	3081	4533	12867	13738	11386	18148	11478	6226	1635	2086

Devido às pausas letivas do setor da educação coincidirem nos meses de verão, meses onde há mais produção fotovoltaica, o uso de um edifício escolar como produtor vai gerar excedentes com forte sazonalidade.

Como se pode verificar através da figura 4.5, os meses em que existem pausas letivas, como por exemplo meio de junho, julho, agosto e meio de setembro têm elevada produção de excedentes que também coincide quando existe a maior exposição solar diária.

Com os dados do consumo de todos os edifícios e com a escolha do estabelecimento escolar como produtor desta comunidade, irá proceder-se no próximo capítulo ao desenvolvimento de métodos para a determinação da chave de repartição de excedentes que se poderão aplicar a esta comunidade.

Capítulo V – Análise e discussão de resultados

No presente capítulo são apresentados e analisados os dados provenientes da aplicação dos diferentes métodos de partilha de energia, de modo a identificar qual o método que melhor otimiza a partilha da energia excedentária e identificando também algumas vantagens e inconvenientes de cada um dos métodos.

5.1. Modelo de chave 1 – Partilha com coeficientes fixos

No primeiro método, utilizou-se a chave de repartição ou coeficientes de partilha fixos para distribuir a quantidade de energia excedentária por cada edifício.

São apresentadas três diferentes percentagens de partilha de energia:

- CP1 - 50% da energia excedentária para cada um dos edifícios participantes;
- CP2 - 40% para o DEEC e 60% para a escola 2;
- CP3 - 30% para o DEEC e 70% para a escola 2.

Foi determinada a quantidade de energia atribuída para cada chave de partilha e a que não foi absorvida no consumo de cada edifício, gerando excedentes de energia da CER não utilizados.

Como é possível analisar através das figuras 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 e a tabela 2, a energia não utilizada varia com as diferentes quantidades de partilha de energia, atribuindo maior quantidade de energia para membros que tenham maiores consumos, isto faz com que o excedente de cada edifício seja inferior, conseguindo assim usar-se maior quantidade de energia excedentária proveniente da produção da CER.

Tabela 2 – Distribuição de energia por cada percentagem de energia

Modelo de Chave 1				
	Edifício	Energia não utilizada	Energia utilizada	Energia total alocada
CP1	DEEC	15427	13529	28956
	Escola 2	690	28313	29003
	Total	16117	41842	57959
CP2	DEEC	11358	11814	23172
	Escola 2	1691	33096	34787
	Total	13049	44910	57959
CP3	DEEC	7662	9748	17410
	Escola 2	3037	37512	40549
	Total	10699	47260	57959

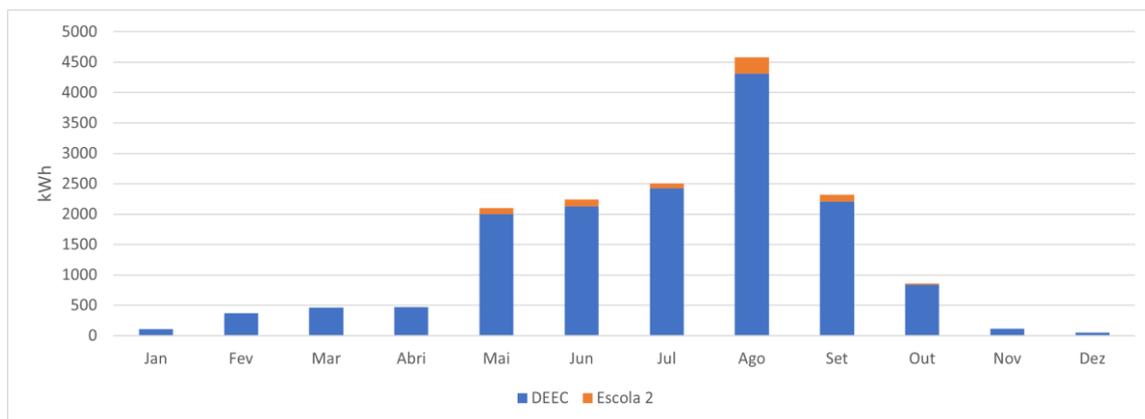


Figura 5.1.1 – Energia não utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 50/50

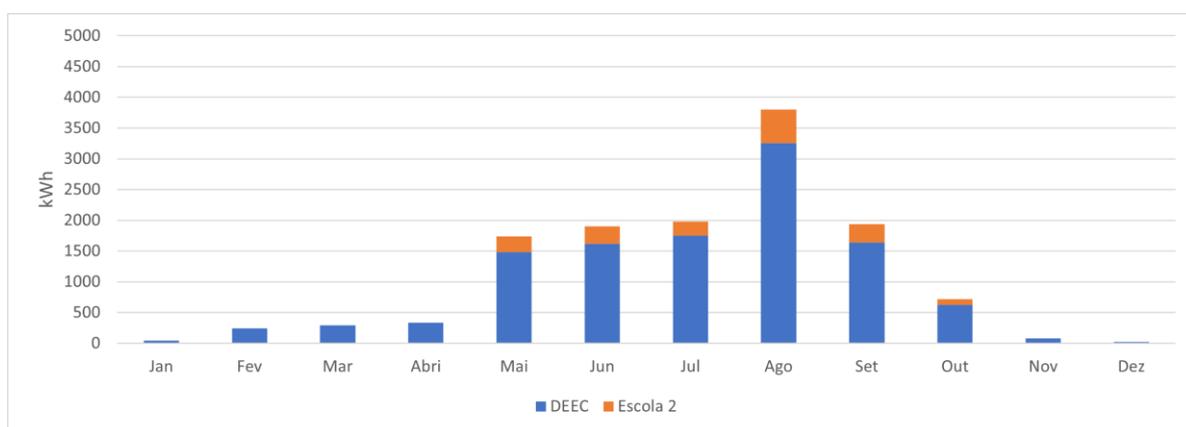


Figura 5.1.2 - Energia não utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 40% para o DEEC e 60% para a escola 2

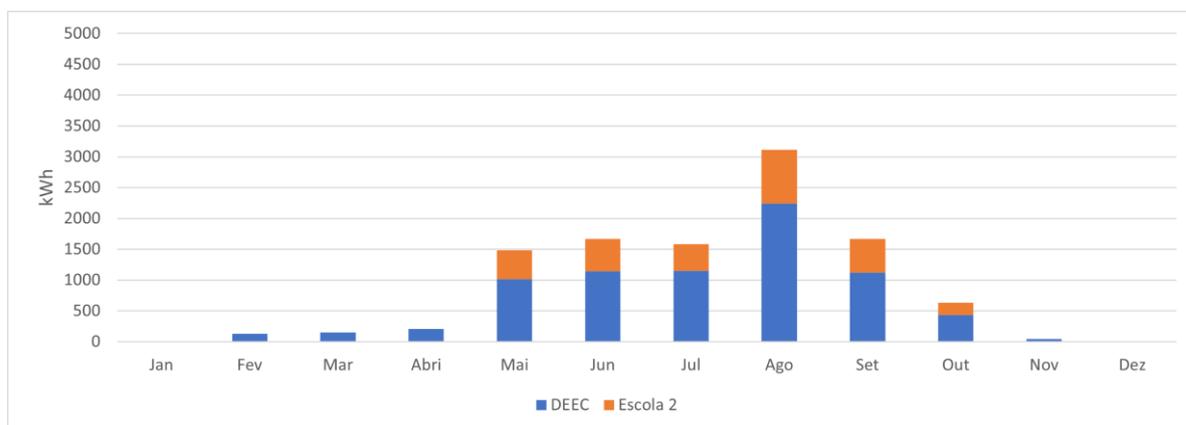


Figura 5.1.3 - Energia não utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 30% para o DEEC e 70% para a escola 2

Ilustrado pelas figuras 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6 e a tabela 2, a energia excedentária utilizada pela comunidade é superior quando existe uma maior atribuição de energia para membros com maior consumo, isto deve-se ao facto de membros com maior consumo, neste caso em concreto a escola 2, conseguirem absorver mais energia excedentária, fazendo com que seja utilizada mais energia excedentária da CER.

COMUNIDADE DE ENERGIA RENOVÁVEL ENVOLVENDO EDIFÍCIOS ESCOLARES E DE SERVIÇO PÚBLICO

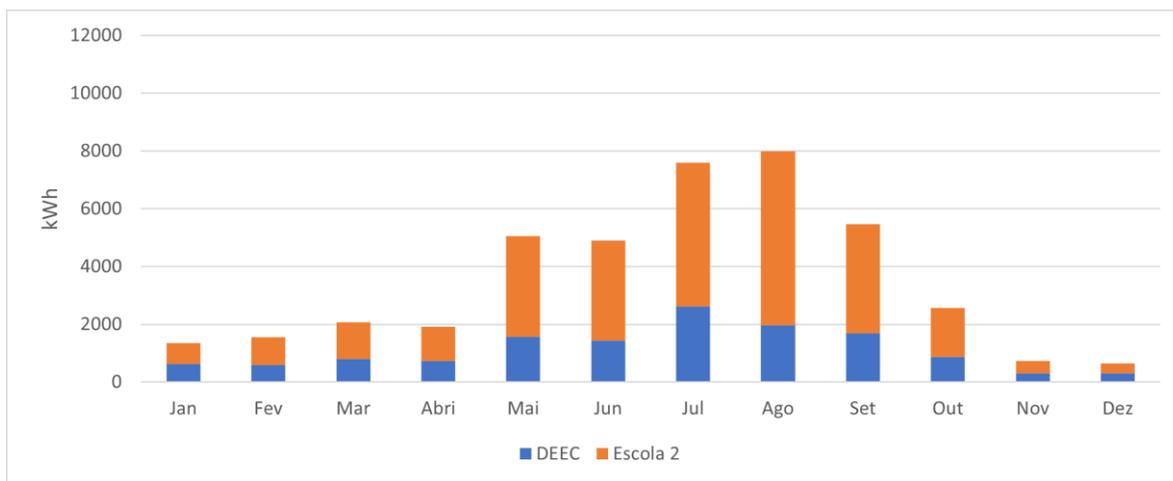


Figura 5.1.4 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 50/50

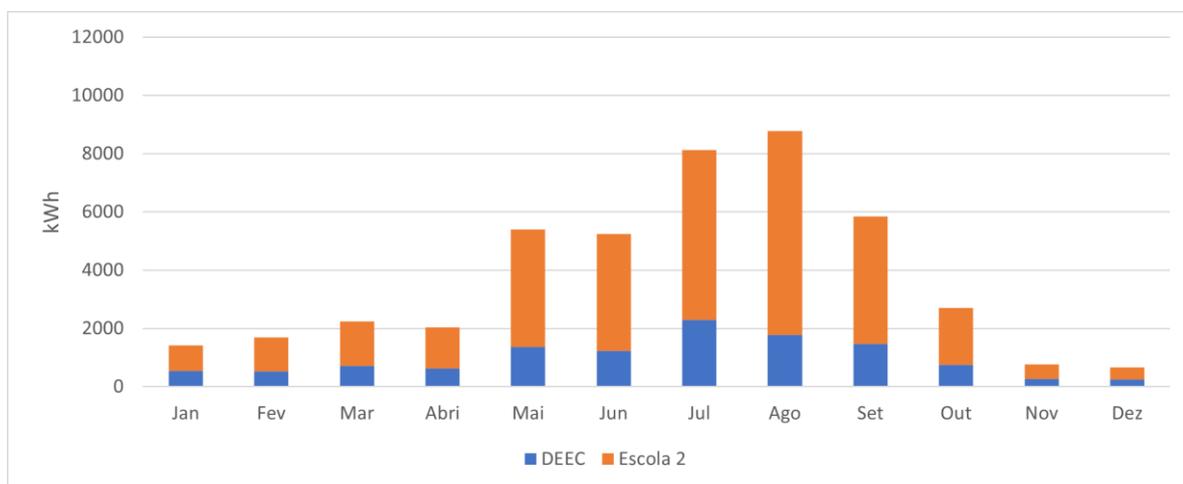


Figura 5.1.5 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 40% para o DEEC e 60% para a escola 2

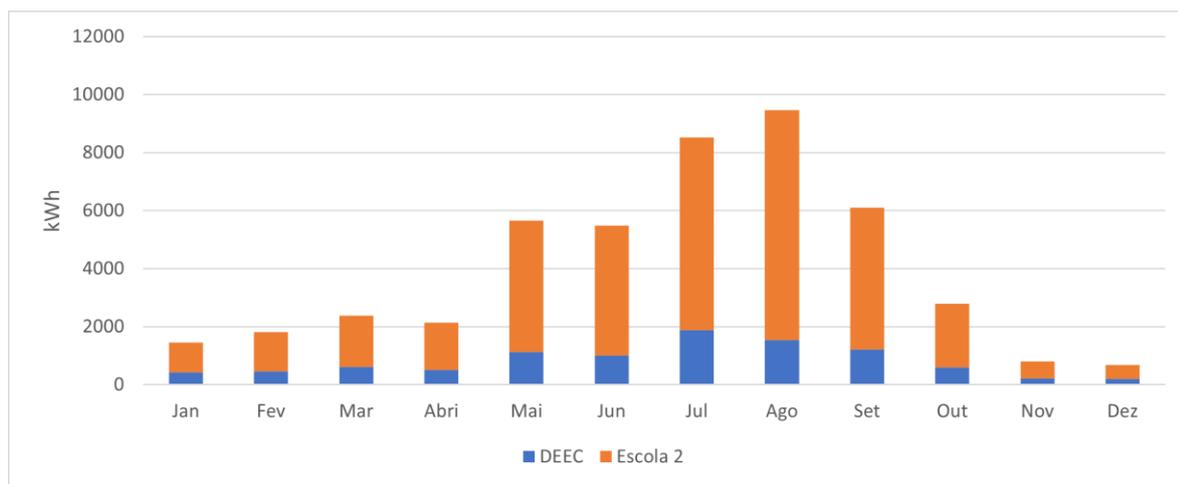


Figura 5.1.6 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando um rácio de 30% para o DEEC e 70% para a escola 2

5.2. Modelo de chave 2 – Partilha proporcional ao consumo

Nesta chave de repartição, a energia é partilhada com base no consumo de cada membro da CER, cujo valores de energia alocada e utilizada estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3- Distribuição de energia por edifício da CER da chave 2

Modelo de Chave 2			
Edifício	Energia não utilizada	Energia utilizada	Energia total alocada
DEEC	238	7306	7544
Escola 2	7737	42678	50415
Total	7975	49984	57959

O DEEC tem um menor consumo que a escola 2, e por isso é lhe atribuída uma menor quantidade de energia resultante dos excedentes da CER. No entanto a energia que lhe é atribuída é praticamente toda utilizada no seu consumo, como é possível verificar na figura 5.2.1. Já a escola 2, irá receber o restante da energia excedentária, uma vez que tem um consumo maior irá receber uma quantidade de energia também maior, fazendo com que tenha um aumento da quantidade de energia não utilizada, como se verifica na figura 5.2.1.

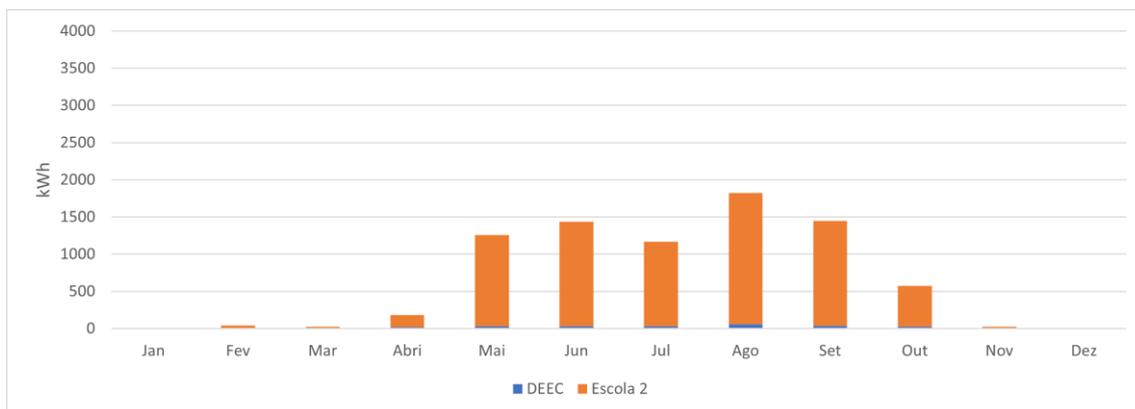


Figura 5.2.1 - Energia não utilizada por cada edifício, utilizando a chave 2

Analisando o gráfico da figura 5.2.2, verificamos que mesmo em meses coincidentes com pausas letivas e uma grande quantidade de energia excedentária na CER, a escola 2 recebe a maior porção de energia excedentária distribuída, visto que, o DEEC tem produção própria, e por isso, ter necessidade de energia muito reduzida nos meses de verão.

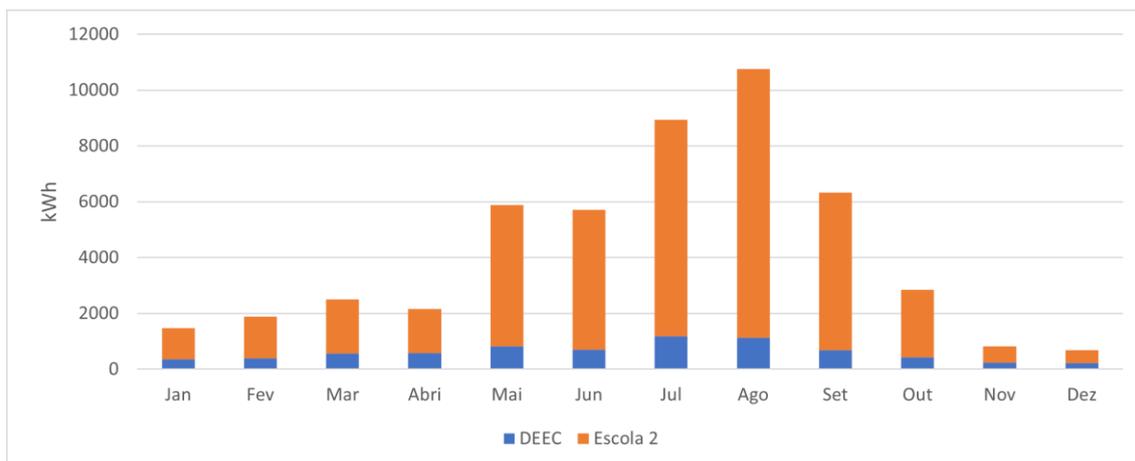


Figura 5.2.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 2

5.3. Modelo de chave 3 – Partilha segue uma lista de prioridade a energia

Como explicado no seção 4.3, esta chave de repartição segue uma ordem de prioridades para atribuição da energia excedentária, no caso desta CER, o DEEC é o primeiro a receber energia e só depois a escola 2. Posto isto, analisando a figura 5.3.1 e a tabela 4 é possível verificar que o DEEC e a escola 2 não tem energia não utilizada, devido ao modo do funcionamento da chave.

Tabela 4 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 3

Modelo de Chave 3			
Edifício	Energia não utilizada	Energia utilizada	Energia total alocada
DEEC	-	19022	19022
Escola 2	-	30963	30963
Total	7975 (*)	49984	49984

(*) corresponde a energia não alocada e que sobrou depois de satisfazer todas as necessidades de consumo dos participantes

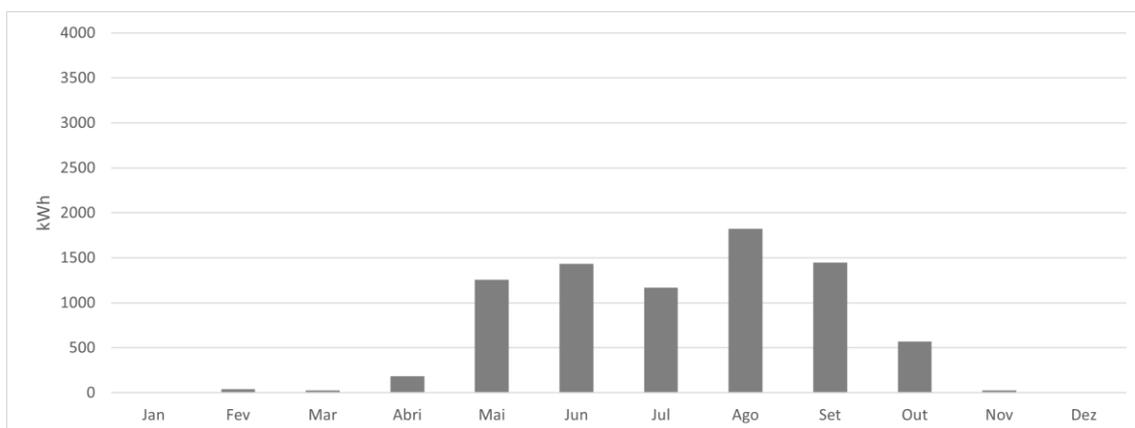


Figura 5.3.1 – Energia total não alocada, utilizando a chave 3

Como o DEEC tem prioridade, toda a energia excedentária da CER primeiro vai satisfazer a totalidade das necessidades de consumo do DEEC e se ainda sobrar energia excedentária é alocada à escola 2. Dessa forma, na figura 5.3.2 vemos que o DEEC recebe uma porção significativa da energia excedentária em comparação com o que acontece nos outros modelos de chave de partilha.

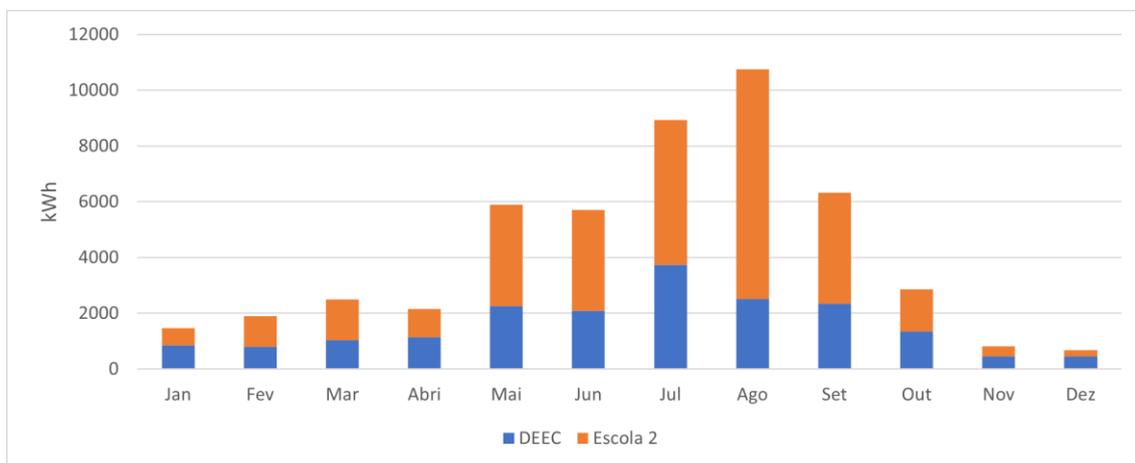


Figura 5.3.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 3

5.4. Modelo de chave 4 – Partilha segue uma lista de prioridade com limite em função do consumo

A diferença como explicada no seção 4.3, entre a chave 3 e chave 4, recai sobre a existência de uma limitação na quantidade de energia atribuída ao participante em função do consumo que cada membro pode receber. Neste caso, o limite foi fixado em 80% do consumo, ou seja, os membros da CER só recebem energia até cobrir 80% do seu consumo e o DEEC é novamente o primeiro da lista.

Tabela 5 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 4

Modelo de Chave 4			
Edifício	Energia não utilizada	Energia utilizada	Energia total alocada
DEEC	-	16755	16755
Escola 2	-	32411	32411
Total	8793 (*)	49166	49166

(*) corresponde a energia não alocada e que sobrou depois de satisfazer todas as necessidades de consumo dos participantes

Na figura 5.4.1 continuamos a ver que o DEEC e a escola 2 não tem qualquer quantidade de energia não utilizada devido ao modo de funcionamento da chave tal como na chave anterior.

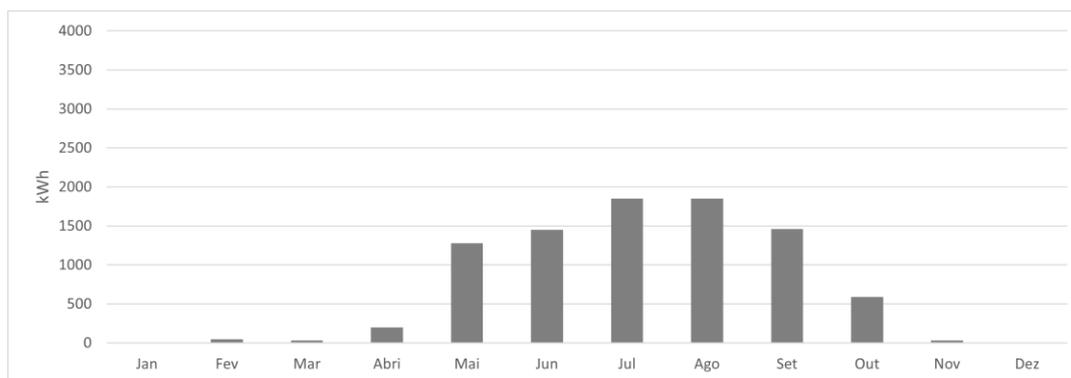


Figura 5.4.1 - Energia total não alocada, utilizando a chave 4

Na figura 5.4.2 vemos o DEEC a receber uma porção da energia excedentária, visto que tendo prioridade vai cobrir até 80% do seu consumo e a energia restante vai para a escola 2 que vai absorver até à limitação imposta. Se limite for atingido gera energia excedentária não utilizada pelos participantes da CER.

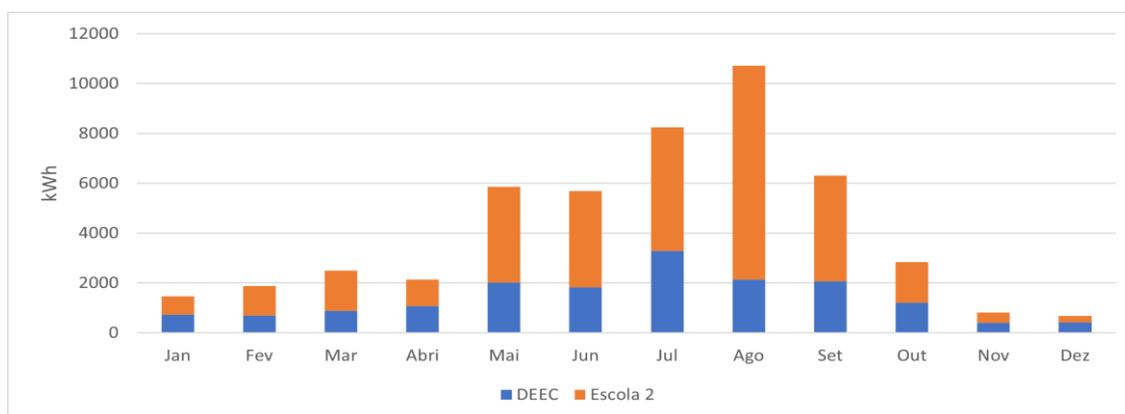


Figura 5.4.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 4

Como se pode constatar este modelo de chave aumenta a energia não alocada, e consequentemente não utilizada.

Modelo chave 5 – Partilha segue uma lista de prioridade com limite em função da energia a partilhar

Nesta chave de repartição, cada membro só pode receber até 60% da energia excedentária, sendo o DEEC o primeiro na lista de prioridades. Com base nisso, conseguimos verificar na figura 5.5.1 e na tabela 6 que o DEEC e a escola 2, tal como nas chaves 3 e 4 não tem energia não utilizada, em contrapartida com a limitação da energia excedentária surgirá muita energia não utilizada proveniente dessa limitação.

Tabela 6 - Distribuição de energia por edifício da CER da chave 5

Modelo de Chave 5			
Edifício	Energia não utilizada	Energia utilizada	Energia total alocada
DEEC	-	14982	14982
Escola 2	-	28224	28224
Total	12891	43206	43206

(*) corresponde a energia não alocada e que sobrou depois de satisfazer todas as necessidades de consumo dos participantes

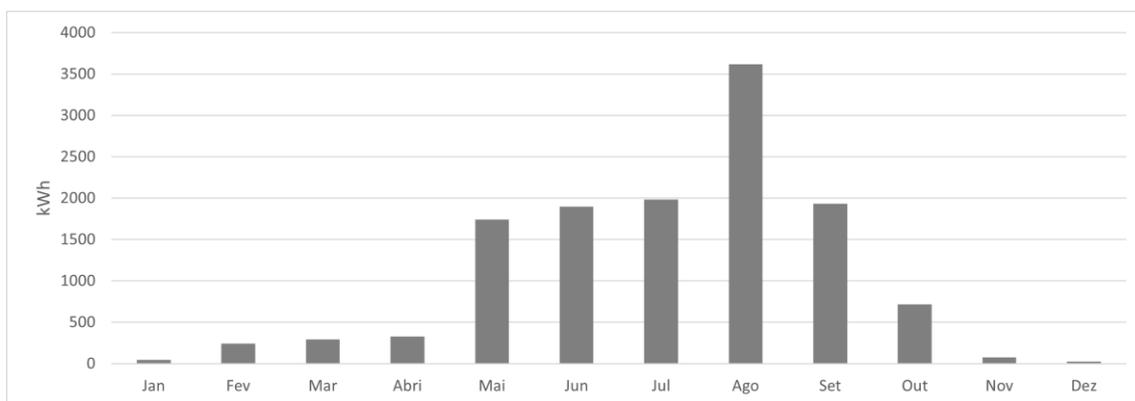


Figura 5.5.1 – Energia total não alocada, utilizando a chave 5

Na figura 5.5.2 está representada a energia excedentária que foi utilizada por cada membro.

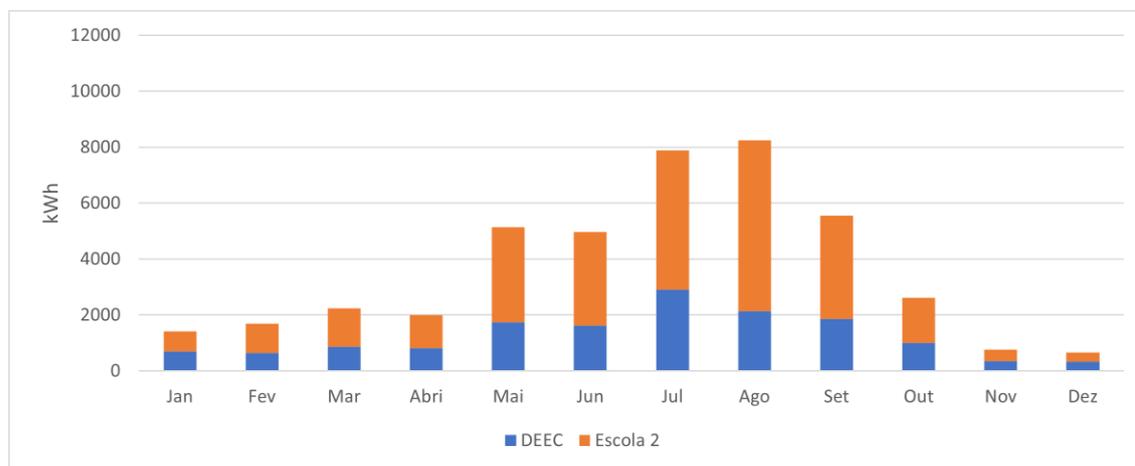


Figura 5.5.2 - Energia utilizada por cada edifício, utilizando a chave 5

Como se pode constatar este modelo de chave, com limitação em função da energia disponível para distribuição, fez aumentar a energia não alocada, e conseqüentemente não utilizada.

5.5. Análise comparativa dos resultados das chaves

Com os dados de todas as chaves de repartição apresentados, é necessário fazer uma análise comparativa dos diversos modelos de chave de repartição simulados de modo a aferir a que melhor se ajusta a esta CER.

Com base nas tabelas 7 e 8, onde estão apresentados a energia não utilizada e a energia utilizada da CER por mês e por chave respectivamente. As chaves dois e três são as que têm maior energia utilizada, ambas poderiam ser utilizadas como chave para fazer a partilha da energia excedentária. Ambas as chaves funcionam de acordo com o consumo dos membros da CER, mas a chave dois para membros que têm maiores consumo atribui-lhes maior quantidade de energia, já na chave três existem membros que têm prioridade em relação aos outros, neste caso, membros que tenham menor consumo é lhes dado prioridade.

Tabela 7 – Distribuição de energia não utilizada pela CER por chave e por mês

	Chave 1 - 50/50	Chave 1 - 60/40	Chave 1 - 70/30	Chave 2	Chave 3	Chave 4	Chave 5
Jan	7%	3%	1%	0%	0%	0%	3%
Fev	19%	12%	7%	2%	2%	2%	12%
Mar	18%	12%	6%	1%	1%	1%	12%
Abri	20%	14%	9%	8%	8%	8%	14%
Mai	29%	24%	21%	18%	18%	18%	24%
Jun	31%	27%	23%	20%	20%	20%	27%
Jul	25%	20%	16%	12%	12%	18%	20%
Ago	36%	30%	25%	14%	14%	15%	29%
Set	30%	25%	21%	19%	19%	19%	25%
Out	25%	21%	18%	17%	17%	17%	21%
Nov	14%	9%	5%	3%	3%	4%	9%
Dez	7%	4%	1%	1%	1%	1%	4%
Anual	28%	23%	18%	14%	14%	15%	22%

Tabela 8 – Distribuição de energia utilizada pela CER por chave e por mês

	Chave 1 - 50/50	Chave 1 - 60/40	Chave 1 - 70/30	Chave 2	Chave 3	Chave 4	Chave 5
Jan	93%	97%	99%	100%	100%	100%	97%
Fev	81%	88%	93%	98%	98%	98%	88%
Mar	82%	88%	94%	99%	99%	99%	88%
Abri	80%	86%	89%	90%	90%	90%	84%
Mai	71%	76%	79%	82%	82%	82%	72%
Jun	69%	73%	77%	80%	80%	80%	70%
Jul	75%	80%	84%	88%	88%	82%	78%
Ago	64%	70%	75%	86%	86%	85%	66%
Set	70%	75%	79%	81%	81%	81%	71%
Out	75%	79%	82%	83%	83%	83%	77%
Nov	86%	91%	94%	97%	97%	96%	91%
Dez	93%	96%	99%	99%	99%	99%	96%
Anual	72%	77%	81%	86%	86%	85%	74%

Na tabela 9, estão somente apresentados os dados de alocação da energia distribuída em percentagem do total de energia a distribuir referente ao DEEC, visto que as percentagens da escola 2 são complementares.

Para esta CER, a melhor chave a aplicar será a chave três, visto que, esta chave tem maior quantidade de energia efetivamente aproveitada, tal com o modelo da chave 2, mas a chave 3 apresenta maior equidade na partilha de energia como é possível verificar na tabela 9.

Tabela 9 – Energia efetivamente utilizada pelo DEEC

	Chave 1 - 50/50	Chave 1 - 60/40	Chave 1 - 70/30	Chave 2	Chave 3	Chave 4	Chave 5
Jan	43%	37%	29%	25%	58%	50%	47%
Fev	31%	28%	23%	20%	41%	36%	34%
Mar	32%	28%	24%	22%	41%	35%	34%
Abri	30%	26%	21%	24%	48%	45%	34%
Mai	22%	19%	16%	12%	32%	28%	24%
Jun	20%	17%	14%	10%	29%	26%	23%
Jul	26%	23%	19%	12%	37%	33%	29%
Ago	16%	14%	12%	9%	20%	17%	17%
Set	22%	19%	16%	9%	30%	27%	24%
Out	26%	22%	17%	13%	39%	35%	29%
Nov	36%	31%	25%	28%	54%	49%	41%
Dez	43%	36%	29%	32%	67%	62%	49%
Anual	43%	37%	29%	25%	58%	50%	47%

5.6. Prós e contras das chaves de repartição

Começando pela chave um, a chave fixa, é uma chave em que é definida uma percentagem de energia a distribuir, foram utilizadas três diferentes percentagens. Analisando as tabelas 7 e 8 verificamos que com maior percentagem para membros com maior consumo é possível aumentar a utilização da energia disponibilizada pela CER, mas continuamos em qualquer uma delas com uma grande quantidade de energia alocada e não utilizada por se atribuir quantidades de energia superiores às necessidades de consumo de um edifício, quando o outro poderia receber mais energia do que a que lhe foi atribuída. Para a utilização desta chave em comunidades de energia renováveis com diversos membros, seria necessária uma prévia análise muito pormenorizada dos consumos dos mesmos para se determinar as percentagens para cada membro da CER de modo a assegurar que a quantidade de energia não utilizada fosse reduzida.

A chave dois, proporcional ao consumo, a forma como a energia excedentária da CER é distribuída é proporcional ao consumo de cada membro. Membros que tenham consumos elevados vão receber uma maior quantidade da energia disponível, o que pode ser uma grande desvantagem desta chave por criar conflito de equidade dentro da CER.

Por exemplo, uma CER com dois membros que tenham consumos muito elevados em comparação com os outros membros, esses membros com maiores consumos, podem ficar com a maioria da energia, o que faz que sejam beneficiados em relação aos membros com consumos inferiores.

Como apresentado no capítulo 4, as chaves 3, 4 e 5 têm a mesma filosofia de partilha de energia. São chaves que seguem uma lista de prioridades e seguindo a prioridade definida pela lista a partilha é feita servindo os mais prioritários até esgotar a energia ou todos os membros da lista vejam as suas necessidades de consumo satisfeitas. Estas chaves causam um problema de equidade, devido a atribuir prioridade a uns membros em relação a outros, fazendo com que membros menos prioritários possam não receber qualquer quantidade de energia, visto que quando chegar à sua vez pode já não haver energia excedentária para distribuir.

A chave três, segue uma lista de prioridade, ou seja, os primeiros membros da lista, caso exista muita quantidade suficiente de energia disponível, vão conseguir absorver energia no valor do seu consumo. Ou seja, membros que tenham menor prioridade e estejam no fundo da lista poderão não receber energia excedentária, o que pode gerar problemas numa CER que tenha muitos membros, devido a membros absorverem a energia toda e outros não receberem nada, é o maior problema associado a esta chave.

A chave quatro, também segue uma lista de prioridade, mas define uma limitação de energia a atribuir em função do consumo do participante, por exemplo apenas serve 80% do seu consumo. É uma forma de tentar minimizar o problema associado à chave três, colocando um teto máximo de absorção de energia excedentária, se for uma CER com muitos membros, faz com que exista a possibilidade de a energia excedentária ser alocada a mais membros que sejam menos prioritários.

A chave cinco, semelhante à chave 4, a limitação de energia a atribuir é em função da energia total disponível na CER, por exemplo serve para cada participante até 60% da energia total disponível, ou seja, se o consumo de energia for superior a 60% da energia total disponível limita a alocação de energia a esse valor limite.

A utilização destas limitações, tanto na chave 4 como na 5 pode criar um problema que é o de criar excedente de energia não alocada, mesmo não tendo servido completamente algum dos participantes, devido à utilização do valor limite. Com se pode observar pela tabela 7 as chaves 4 e 5 apesar de terem a mesma filosofia de alocação de energia que a chave 3, geram mais energia não usada do que esta última.

Capítulo VI – Conclusão e desenvolvimentos futuros

6.1. Conclusão

Com a realização desta dissertação, pretendeu-se desenvolver diversos modelos de chave de repartição e selecionar a que melhor se adequa a uma determinada CER.

Primeiramente, foi escolhido o edifício onde se localizaria a produção da CER, qual dos dois estabelecimentos de ensino, de modo a obter maior quantidade de energia excedentária, para uma mesma potência instalada e com disponibilidade de área para a sua instalação.

Seguidamente, com base na escolha do local da produção, era necessário partilhar a energia excedentária com o resto da CER, posto isso, foram desenvolvidos vários métodos de partilha de energia para e fazer uma análise comparativa dos resultados da sua aplicação.

Foram desenvolvidos três métodos diferentes, dois deles já contemplados no regulamento nº8 da ERSE, o coeficiente fixo e o coeficiente proporcional, e outro com três variantes em que o cálculo dos coeficientes é dinâmico, em função de uma lista de prioridades que ordena os participantes e do consumo de cada participante. Na versão sem limitação, enquanto houver energia da CER para distribuir o coeficiente é dado pela divisão do consumo de cada participante e da energia total da CER. Foram definidas duas variantes em que uma limita a alocação de energia a uma percentagem do consumo de cada participante e outra a uma percentagem da energia total disponível na CER.

Com as chaves desenvolvidas, procedeu-se à sua implementação através de simulação na partilha dos excedentes da CER criada.

Com os resultados obtidos conclui-se que a chave que otimiza esta CER são duas chaves, a chave proporcional ao consumo, e a chave que segue uma lista de prioridade com base na satisfação total do consumo do participante por ordem de prioridade.

Todas as chaves têm as suas vantagens e desvantagens e dependem de CER para CER, dessa forma, é necessário ponderar essas vantagens e desvantagens na escolha do modelo de chave de partilha.

Na primeira chave, colocando uma percentagem fixa de partilha de energia, podemos gerar quantidade significativa de energia não utilizada, mas ao mesmo tempo se a CER tiver muitos membros, com o excedente produzido, essa energia não utilizada pode diminuir drasticamente, visto que, a energia atribuída a cada membro consegue ser toda absorvida pelo próprio.

Na segunda chave, a energia é distribuída com base no consumo de cada membro, ou seja, se uma CER tiver membros com elevados consumos, a maioria da energia produzida na CER e não alocada no edifício onde está instalada, vai ser absorvida por esses membros deixando os outros membros com uma pequena percentagem de energia excedentária, contudo para comunidades que não existam grandes consumidores é uma chave que gera pouca energia não utilizada e todos os membros recebem percentagens parecidas.

As chaves correspondentes ao terceiro modelo proposto designada como sendo as chaves três e quatro e cinco seguem uma lista de prioridades, ou seja, existem membros em que as suas necessidades de energia são servidas começando nos mais prioritários até servir todos ou se esgotar a energia disponível na CER. Assim, estas chaves criam um problema de equidade, visto que, estamos a dar prioridade a uns membros em detrimento de outros, o que pode causar que membros que estejam no fundo da lista não recebam energia da CER por se ter esgotado antes. Para colmatar isso, as chaves quatro e cinco impõem limitações máximas de energia alocada a cada membro, de forma que a energia disponível possa chegar a mais membros, em especial aos menos prioritários do fundo da lista. No entanto estas limitações podem gerar excedente de energia não alocada em CER com poucos membros, visto que ao limitar a partilha de energia a cada membro pode chegar ao fim da lista ainda com energia sobrando por alocar.

Conclui-se com esta dissertação que a chave de repartição que otimiza a partilha da energia excedentária depende de comunidade para comunidade, visto que, cada chave tem as suas vantagens e desvantagens, que são diferentes para todas comunidades.

6.2.Desenvolvimentos futuros

Para ter uma maior perceção se as chaves desenvolvidas e seleção da chave 3 para ser a chave a utilizar neste projeto, seria necessário serem escolhidos os edifícios de serviço público que seriam associados à CER e analisar os seus perfis de consumo e voltar a fazer uma análise com as chaves e se necessário desenvolver mais chaves de modo a conseguir aproveitar o máximo da energia excedentária proveniente do produtor da CER.

Referências Bibliográficas

- [1] - União Europeia, “Regulamento 2018/1999 do Parlamento Europeu e conselho de 11 de dezembro de 2018,” *Jornal Oficial União Europeia*, vol. 328, nº 1, pp. 1-77, 11 dezembro 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>
- [2] - Diário da República n.º 206/2019, Série I de 2019-10-25, páginas 45 –62. URL: <https://files.dre.pt/1s/2019/10/20600/0004500062.pdf>
- [3] - Governo Português “PROGRAMA DO XXIII - GOVERNO CONSTITUCIONAL”, 2022, pp 72, 2022. URL: <https://www.portugal.gov.pt/gc23/programa-do-governo-xviii/programa-do-governo-xviii-pdf.aspx?v=%C2%ABmlkvi%C2%BB=54f1146c-05ee-4f3a-be5c-b10f524d8cec>
- [4] - República Portuguesa “ACORDO DE PARIS 2015 – 2020”, 2020, pp 19, 12 de dezembro 2020. URL: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3D%3DBQAAAB%2BLCAAAAAABAAzNLA0tgQArA2cKgUAAAA%3D>
- [5] - UNITED NATIONS “PARIS AGREEMENT 2015”, 2015, pp 27, 2015. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- [6] - H. Zareipour, «Distributed Generation: Current Status and Challenges», p. 9, 2001.
- [7] - “goldenergy,” [Online]. Available: <https://goldenergy.pt/glossario/geracao-distribuida/>. [Acedido em 21 junho 2022].
- [8] - União Europeia, “DIRETIVA (UE) 2018/2001 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 11 de dezembro de 2018,” *Jornal Oficial União Europeia*, vol. 328, nº 82, pp. 1-128, 11 dezembro 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=LV>
- [9] - R. J. M. Serra, «Autoconsumo coletivo», p. 17, 2022.
- [10] - ERSE, ERSExplica. Casos tipo de aplicação do regulamento do autoconsumo. Maio 2021.
- [11] - A. D. Mustika, R. Rigo-Mariani, V. Debusschere, e A. Pachurka, «A two-stage management strategy for the optimal operation and billing in an energy community with collective self-consumption», *Applied Energy*, vol. 310, p. 118484, mar. 2022, doi: [10.1016/j.apenergy.2021.118484](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118484).
- [12] - ERSE, Regulamento nº8/2021. URL: https://www.erse.pt/media/b5rmusyr/regulamento-erse-n-%C2%BA-8_2021.pdf
- [13] - European Commission. Joint Research Centre., *Energy communities: an overview of energy and social innovation*. LU: Publications Office, 2020. Acedido: 5 de julho de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/180576>
- [14] - União Europeia, “DIRETIVA (UE) 2019/944 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 5 de junho de 2019,” *Jornal Oficial União Europeia*, vol. 158, nº

125, pp. 1-75, 5 junho 2019. URL: [DIRETIVA \(UE\) 2019/ 944 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - de 5 de junho de 2019 - relativa a regras comuns para o mercado interno da eletricidade e que altera a Diretiva 2012/ 27/ UE \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj)

[15] - Frieden, D., A. Tuerk, J. Roberts, S. D’Hebermont, and A. Gubina, ‘Collective Self-Consumption and Energy Communities: Overview of Emerging Regulatory Approaches in Europe’, No. June, 2019.

[16] - Roberts, J., Frieden, D., Gubina, A., ‘Energy Community Definitions’, Compile Project: Integrating Community Power in Energy Islands, No. May, 2019.

[17] - Diário da República n.º 15/2022, Série I de 2022-01-14, páginas 3 – 185. URL: <https://files.dre.pt/1s/2022/01/01000/0000300185.pdf>

[18] - I. I. N. Almeida, «Autoconsumo de Eletricidade Solar em Edifícios Residenciais», p. 44, 2015.

[19] - J. G. Domingos, «Comunidade de Energia como gestora de uma Virtual Power Plant: agregação de produção dispersa e de flexibilidade de consumo», p. 89, 2017.

[20] - P. M. B. Oliveira, «Autoconsumo Fotovoltaico, análise de um caso de estudo em termos de poupança e de rentabilidade», p. 67, 2017.

[21] - J.P.P. Lima, «Implementação de produção fotovoltaica para autoconsumo numa instalação industrial», p.77, 2020.

[22] - M. D. A. D. C. G. Barros, «Introdução de um Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico num Equipamento Coletivo», p.155.

[23] - J. M. M. P. Araujo, «O Autoconsumo no Setor Residencial», p.116, 2015.

[24] - M. A. S. C. Dias, «Eficiência Energética e Geração Fotovoltaica em Condomínios», p.98, 2020.