

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Sistema de Gestão de Créditos em Comunidades de Energia

Bruno Emanuel Leite Oliveira

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: José Rui da Rocha Pinto Ferreira

12 de outubro de 2023

Resumo

O Parlamento Europeu e o Conselho apresentaram a Diretiva (UE) n.º 2018/2001, introduzindo um novo conceito: Comunidades de Energia Renovável (CER). Estabeleceu igualmente metas individuais para 2030 e um novo regime jurídico aplicável ao autoconsumo. Perante isto, Portugal adotou o mesmo conceito no seu regime jurídico no Decreto-Lei n.º 162/2019.

A atualidade das questões ambientais, nomeadamente a nível energético, confere à CER uma posição de extrema relevância visto estas serem consideradas fundamentais para alcançar uma economia descarbonizada e para suportar a transição do setor elétrico para o consumo de energia produzida através de fontes renováveis.

No entanto, a carência de um mecanismo de transação de valor associado à transação de energia renovável produzida e consumida dentro das comunidades que seja eficiente e multi-funcional emerge como o principal desafio a ser enfrentado para que se torne concebível a sua aplicação em grande escala.

Esta dissertação procura responder a este desafio, pelo que, os seus principais objetivos consistem em desenhar um modelo de transação de valor dentro de comunidades de energia renovável e, para além disso, fundamentar um sistema de gestão que consiga simplificar a transação de energia renovável entre pares da comunidade.

Primeiro delinear-se-ão detalhadamente os fundamentos do novo método de transação de valor, o Crédito de Energia (CrE), com o intuito de este ser digital, mais eficaz e versátil. Associado a este método, desenhou-se o Sistema de Gestão de Créditos de Energia (SGCrE), um sistema de gestão e contabilidade energética capaz de implementar o novo método de transação. Definiram-se as funcionalidades que este sistema permitia e estudou-se quais as principais implicações da sua operacionalização.

Testou-se o SGCrE num caso de estudo, obtendo uma implementação em *Python* que foi posteriormente comparada com uma análise energética prévia efetuada ao caso de estudo. Os resultados obtidos na análise corresponderam aos resultados obtidos em créditos na implementação, validando o conceito criado neste trabalho.

Com esta dissertação, foi possível concluir que o SGCrE é uma forma eficaz de gerir a contabilidade de transações de energia dentro de uma CER. É uma base de transação adequada e eficaz para promover a coexistência de diversificados mercados de energia local, evita a múltipla tributação fiscal de um produto que já pertence ao consumidor e alarga as ações comerciais a outros bens e serviços transacionados dentro da CER. Para além disso, permite ainda uma gestão mais eficaz dos fluxos de energia na CER.

Abstract

By introducing Directive (UE) n.º 2018/2001, the European Parliament and Council created a new idea: renewable energy community. Individual targets were also established to be accomplished by 2030 and a new legal regime applicable to self-consumption and energy communities was published. In response to this, Portugal adopted the same idea in its legal regime through Decree-Law No. 162/2019.

The current relevance of environmental questions, particularly in the energy sector, grants renewable energy communities an extremely significant position, given that the latter are considered essential for achieving a carbon-neutral economy and to support the transition of the electricity sector towards the consumption of energy produced from renewable sources.

However, the lack of an efficient and multi-functional value transaction mechanism associated with the production and consumption of renewable energy within communities emerges as the main challenge to be addressed for its conceivable large-scale implementation.

This dissertation aims to address this challenge, and its main objectives are to design a value transaction model within renewable energy communities and, furthermore, to establish the fundamentals for a management system that could streamline the transaction of renewable energy among community members.

Firstly, the fundamentals of the new value transaction method, Energy Credit (CrE), were comprehensively outlined, aiming for it to be digital, more effective, and versatile. Associated with this method, the Energy Credit Management System (SGCrE), which is an energy management and accounting system capable of implementing the new transaction method, was designed. The functionalities enabled by this system were defined and the main implications of its operationalization were studied.

The SGCrE was tested in a case study, resulting in a *Python* implementation that was subsequently compared to a previous energy analysis conducted on the same case study. The results obtained from the analysis corresponded with the outcomes achieved with credits in the implementation, thereby validating the concept created in this dissertation.

The main conclusions to be drawn from the results achieved in this dissertation are that the SGCrE is an effective way to manage the accounting of energy transactions within a renewable energy community. It serves as a suitable and efficient transaction basis, promoting the coexistence of diversified local energy markets, avoiding multiple taxation on a product already belonging to the consumer and expanding commercial activities to other goods and services transacted within the CER. Additionally, it enables a more efficient management of energy flow within the community.

Agradecimentos

Gostaria de deixar uma palavra de apreço e gratidão a todos aqueles que contribuíram para a realização desta dissertação.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira, pela orientação, pela disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos que me deu desde que foi meu professor até à realização desta dissertação. Para além de me tornar um melhor engenheiro, fez de mim um melhor ser humano.

Ao Professor Doutor Cláudio Monteiro, por todos os conhecimentos partilhados no decorrer deste último ano. O seu apoio foi indispensável para a realização desta dissertação.

Aos meus pais, pelo carinho, por toda a motivação e por acreditarem em mim desde o início deste percurso. Sem vós eu não seria capaz de voar tão longe e não há palavras que descrevam a minha gratidão.

Aos meus avós, aos que partiram e aos que vão ter a oportunidade de me ver formar, dedico-lhes o meu futuro título de Mestre em Engenharia.

À Maria, por ser o meu apoio e por estar sempre presente durante estes anos. Obrigada pela tua ajuda para ultrapassar todos os obstáculos e atingir os meus objetivos, pela tua amizade e confiança.

Aos meus amigos, aos velhos e aos que a faculdade me deu oportunidade de conhecer, por estarem presentes no meu percurso, pela entreajuda, por todas as conversas e risos.

A todos os docentes que fizeram parte do meu percurso académico pelo seu contributo na minha formação.

A todos e a cada um de vós - o meu profundo e sincero obrigado!

Bruno Oliveira

*“Do not fear to be eccentric in opinion,
for every opinion now accepted was once eccentric.”*

Bertrand Russell

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contextualização e Motivação	1
1.2	Questões de Investigação	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Estrutura da Dissertação	3
2	Estado de Arte	5
2.1	Comunidades de Energia Renovável	5
2.1.1	Legislação	5
2.1.2	Enquadramento e Estrutura	7
2.1.3	Ativos e Instalações Relacionadas com uma CER	10
2.1.4	Agentes e Informação	12
2.1.5	Repartição de Energia	14
2.1.6	Modelos de Negócio	15
2.2	Transação de Valor em CER	17
2.2.1	Métodos de Transação	17
2.2.2	Tecnologias Transacionais	20
2.3	Síntese do Estado de Arte	23
3	Desenho do Sistema de Gestão de Créditos de Energia	25
3.1	Fundamentação Inicial do Crédito de Energia Desenvolvido	26
3.1.1	Definição de Crédito de Energia e Sistema de Gestão de Créditos de Energia	26
3.1.2	Âmbito de Aplicação do Sistema de Gestão de Créditos de Energia em CER	27
3.1.3	Intervenientes e Carteira de Créditos de Energia	29
3.2	Funcionalidades do Crédito de Energia	31
3.2.1	Geração de Créditos	31
3.2.2	Transferência de Créditos	33
3.2.3	Anulação e Consumo de Créditos	33
3.2.4	Compra e Venda de Créditos à EGAC	34
3.3	Operacionalização do Sistema de Gestão de Créditos na CER	36
3.3.1	Tecnologias de Geração, Armazenamento e Transferência de Créditos . .	36
3.3.2	Transferência de Créditos entre Comunidades	38
3.3.3	Aspetos Regulamentares do SGCrE	39
4	Caso de Estudo	43
4.1	Caracterização do Caso de Estudo	43
4.2	Dados do Caso de Estudo	44
4.2.1	Tratamento Inicial dos Dados	45

4.3	Análise de Dados	48
4.3.1	Produção e Consumo	48
4.3.2	Energia Autoconsumida e Energia Injetada	51
4.3.3	Repartição Virtual	53
4.3.4	Excedente	58
4.3.5	Fluxo de Energia Repartida entre Edifícios	60
4.4	Aplicação do Sistema de Gestão de Créditos de Energia	61
4.4.1	Regras Fundamentais do Caso de Estudo	61
4.4.2	Simulação do SGCrE	63
4.4.3	Resultados da Simulação do SGCrE	66
4.4.4	Análise de Resultados da Simulação	69
5	Conclusões e Trabalho Futuro	83
5.1	Conclusões	83
5.2	Respostas às Questões de Investigação	86
5.3	Verificação dos Objetivos	87
5.4	Trabalho Futuro e Aplicações desta Dissertação	88
A	Dados Tratados do Caso de Estudo	89
B	Registo de Transações	99
	Referências	101

Lista de Figuras

2.1	Membros que podem constituir a CER.	9
2.2	Exemplos de CER com diferentes UPAC.	9
2.3	Possíveis configurações de produção [1].	11
2.4	Possíveis configurações de Unidades de Armazenamento (UA), adaptado de [1]. .	11
2.5	Papel da EGAC e interação com agentes envolvidos numa CER, adaptado de [2].	13
4.1	Esquema inicial do caso de estudo apresentando as diferentes entidades envolvidas.	44
4.2	Fluxograma da repartição de energia baseada em consumos.	46
4.3	Perfil de produção média horária de cada edifício.	48
4.4	Produção de energia mensal total de cada edifício.	49
4.5	Perfil de consumo médio horário de cada edifício.	50
4.6	Consumo mensal total de energia de cada edifício.	50
4.7	Análise mensal da relação matemática entre a energia produzida, a autoconsumida e a injetada total dos edifícios. Comparação destes com o consumo. Valores apresentados em MWh.	51
4.8	Perfil horário médio de potência injetada de cada edifício.	52
4.9	Energia Injetada mensal total de cada edifício.	52
4.10	Perfil horário médio do consumo líquido antes da repartição virtual.	54
4.11	Perfil horário médio do consumo líquido depois da repartição virtual.	54
4.12	Perfis horários médios dos consumos líquidos do edifício E1	55
4.13	Total mensal do consumo líquido antes da repartição virtual.	56
4.14	Total mensal do consumo líquido depois da repartição virtual.	56
4.15	Total mensal dos consumos líquidos do consumidor do edifício E1.	57
4.16	Comparação dos fluxos energéticos totais mensais dos consumos: bruto, líquido antes da repartição e depois da repartição. Valores em MWh.	57
4.17	Perfil de potência excedente média horária de cada edifício.	58
4.18	Comparação dos perfis horários das potências injetada e excedente média de cada edifício.	59
4.19	Energia excedente mensal total de cada edifício.	59
4.20	Energia total mensal recebida pelo C1 devido à repartição virtual, por edifício de origem.	60
4.21	Registo dinâmico CC executado no <i>Jupyter</i> . Todos os valores apresentados estão em créditos de energia (CrE).	67
4.22	Resumo mensal <i>MonthResultsCC</i> executado no <i>Jupyter</i> . Todos os valores apresentados estão em créditos de energia (CrE).	67
4.23	Resumo monetário mensal <i>CM</i> executado no <i>Jupyter</i> . Todos os valores apresentados estão em euro (€).	68

4.24	Registo de transações <i>RegTransact</i> executado no <i>Jupyter</i> . Todos os valores apresentados estão em créditos de energia (CrE).	68
4.25	Variações de carteiras de créditos.	71
4.26	Gráfico de resumo monetário mensal dos consumidores da CER.	78
A.1	Valores associados ao consumo.	90
A.2	Valores associados à produção.	91
A.3	Valores associados ao autoconsumo.	92
A.4	Valores associados à potência e energia injetada.	93
A.5	Valores associados ao consumo líquido antes da repartição virtual.	94
A.6	Valores associados à repartição virtual.	95
A.7	Valores associados ao consumo líquido depois da repartição virtual.	96
A.8	Valores associados ao excedente.	97
A.9	Valores associados aos fluxos de energia repartida.	98

Lista de Tabelas

4.1	Potência de produção e consumo.	44
4.2	Valores anuais de energia produzida e consumida de cada edifício.	48
4.3	Valores anuais de energia autoconsumida e injetada de cada edifício.	51
4.4	Valores anuais relacionados com a repartição virtual de cada edifício.	53
4.5	Valores anuais de energia excedente de cada edifício.	58
4.6	Fluxos de energia anuais repartida entre edifícios da comunidade (em MWh). . .	60
4.7	Registo dinâmico CC. Todos os valores estão apresentados em CrE.	70
4.8	Resumo mensal CC. Todos os valores estão apresentados em CrE.	71
4.9	Tabela do cálculo energético renovável do consumidor auto-produtor CP1.	72
4.10	Tabela do cálculo energético renovável do investidor I2.	73
4.11	Tabela do cálculo energético renovável do consumidor C2.	74
4.12	Tabela do cálculo energético renovável do consumidor C3.	75
4.13	Tabela do cálculo energético renovável do consumidor C4.	76
4.14	Tabela do cálculo energético renovável da carteira virtual EXTERNA.	76
4.15	Resumo monetário mensal CM. Valores em euro (€).	77
4.16	Somatório anual dos registos de créditos associados à liquidação mensal. Todos os valores apresentados estão em CrE.	79
4.17	Resumo mensal e anual dos registos de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E1.	80
4.18	Resumo mensal e anual dos registos de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E2.	80
4.19	Resumo mensal e anual dos registos de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E3.	80
4.20	Resumo mensal e anual dos registos de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E4.	80
4.21	Média de CrE transacionados por transação com categoria RV.	81
4.22	Resumo mensal e anual dos registos de créditos associados à energia transacionada pelo investidor I2.	82
B.1	Registos de créditos associados à liquidação mensal. Todos os valores apresentados estão em CrE.	99

Símbolos

E_i	Energia atribuída a cada membro
E_{pT}	Energia total produzida
c_i	Coeficiente fixo de repartição da energia total produzida
$E_{c,i}$	Energia consumida líquida que falta suprir em cada período quarto-horário
$P_{p,E}$	Potência produzida num edifício E
$P_{c,E}$	Potência produzida num edifício E
$E_{p,E}$	Energia produzida num edifício E
$E_{c,E}$	Energia consumida num edifício E
E_{ac}	Energia autoconsumida
$E_{ac,E}$	Energia autoconsumida num edifício E
$E_{clAR,E}$	Energia consumida líquida antes da repartição num edifício E
$E_{in,E}$	Energia injetada num edifício E
$E_{RV,E}$	Energia repartida virtual cujo destino é o edifício E
$E_{clDR,E}$	Energia consumida líquida depois da repartição num edifício E
$E_{excTOTAL}$	Energia excedente total
$E_{exc,E}$	Energia excedente num edifício E
$E_{fluxo_{i \rightarrow j}}$	Fluxo de energia entre dois edifícios i e j

Abreviaturas

ACC	Autoconsumo Coletivo
ACI	Autoconsumo Individual
APIs	Application Programming Interfaces
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CER	Comunidades de Energia Renovável
CPE	Código Ponto de Entrega
CPEc	Código de Ponto de Entrega de Consumo
CPEp	Código de Ponto de Entrega de Produção
CrE	Crédito de Energia
<i>df</i>	<i>DataFrame</i>
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EGAC	Entidade Gestora de Autoconsumo
EMS	Energy Management Systems
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
IA	Instalação de Armazenamento
IC	Instalação de Consumo
IoT	Internet of Things
IPr	Instalação de Produção
IU	Instalação de Utilização
MAT	Muito Alta Tensão
MRV	Modelo de Repartição Virtual
MT	Média Tensão
NBC	Número Base de Créditos
ORD	Operador da Rede de Distribuição
P2P	Peer-to-Peer
PNEC 2030	Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030
PPA	Power Purchase Agreements
RAC	Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
ROR	Regulamento de Operação das Redes
RND	Rede Nacional de Distribuição
RNT	Rede Nacional de Transporte
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SMI	Sistema de Medição Inteligente
SGCrE	Sistema de Gestão de Créditos de Energia
TAR	Tarifas de Acesso às Redes
UA	Unidades de Armazenamento

UE	União Europeia
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
SEN	Sistema Elétrico Nacional

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo intenta introduzir a temática desta dissertação. Abordar-se-á o contexto em que esta surge, o respetivo enquadramento legislativo e quais as motivações que levam à necessidade de criação de um Sistema de Gestão de Créditos de Energia em Comunidades de Energia Renovável. São igualmente expostas as questões de investigação, quais os principais objetivos desta dissertação e qual a sua estrutura.

1.1 Contextualização e Motivação

Os sistemas elétricos estão em pleno processo de evolução, seguindo uma trajetória de maior sustentabilidade e descentralização, abandonando o convencional paradigma de produção centralizada em prol de uma integração estratégica de fontes renováveis nas proximidades dos pontos de consumo. Esta transformação, além de atribuir um papel mais ativo aos consumidores, desempenha um papel preponderante no cumprimento das metas ambientais estabelecidas no âmbito europeu.

As metas estabelecidas foram publicadas a 11 de dezembro de 2018, na Diretiva (UE) n.º 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, realçando a necessidade de promoção e maior utilização de fontes de energia renovável visando um desenvolvimento ambiental mais sustentável. No decorrer deste documento, foi introduzido o conceito de Comunidade de Energia Renovável (CER).

As CER despontam uma solução promissora para o panorama energético atual: viabilizam a interação direta entre produtores e consumidores de energia renovável, promovendo sistemas energéticos colaborativos e fomentando a partilha do excedente energético com o objetivo de atingir um ecossistema local sustentável.

No contexto nacional, em Portugal, enquanto Estado-Membro da União Europeia, foi delineado o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), o qual reflete a estratégia do país para a presente década, estabelecendo uma combinação variada de diretrizes políticas e tecnológicas. Em simultâneo, foi promulgado o Decreto-Lei n.º 162/2019, que "aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável, parcialmente transpondo a Diretiva 2018/2001",

renovando, desse modo, as orientações relativas ao autoconsumo ao incorporar o conceito de Comunidade de Energia Renovável no enquadramento jurídico português.

No entanto, não foram delineadas orientações específicas relativas aos modelos de aplicação de Comunidades de Energia em Portugal. Assim, a carência de um mecanismo de transação de valor associado à transação de energia renovável produzida e consumida dentro das comunidades que seja eficiente e multi-funcional, emerge como o principal desafio a ser enfrentado para que se torne concebível a sua aplicação em grande escala.

A ambição de utilizar a energia como valor monetário digital de transação entre pares, sem necessidade de recorrer a intermediários, nas comunidades torna-se essencial tendo em conta o crescente número de produtores e consumidores de energia renovável.

Neste sentido, é fundamental o desenvolvimento do conceito de Crédito de Energia como valor digital representativo de energia e o desenho de um Sistema de Gestão de Créditos de Energia que permitam tornar o desafio de transação de valor dentro de uma comunidade praticável e controlável de um ponto de vista contabilístico. A procura de resposta a este desafio mencionado reflete a principal motivação desta dissertação.

1.2 Questões de Investigação

De seguida, apresentam-se as questões de investigação a que se pretende obter resposta no decorrer desta dissertação com o desenvolvimento do tema abordado:

- É possível, dentro de uma CER, encontrar mecanismos funcionais e flexíveis de transacionar valor entre os diversos agentes da comunidade?
- A legislação permite a implementação dos mecanismos anteriormente referidos?
- É possível criar um modelo de negócio com os mecanismos de transação de energia existentes?
- Que benefícios económicos podem trazer estes mecanismos para os membros da comunidade?
- As vantagens destes mecanismos compensam a complexidade, por forma a ser uma solução viável para os consumidores domésticos?

1.3 Objetivos

Numa perspetiva global, o objetivo principal desta dissertação centra-se no desenvolvimento de um mecanismo que permita aos membros de Comunidades de Energia Renovável transacionar energia de forma eficiente, sem a necessidade de recorrer a intermediários. Para tal, listam-se de seguida os objetivos específicos a cumprir:

- Desenho do mecanismo de créditos de energia;
- Definição dos conceitos base e respetivos fundamentos justificativos;
- Definição dos conceitos de geração, liquidação e transação de créditos de energia;
- Definição das entidades que geram, consomem, liquidam e transacionam os créditos de energia;
- Definição dos princípios que gerem a contabilidade analítica de créditos de energia.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em 5 capítulos.

No capítulo 1, é feita uma introdução onde se apresentam o contexto e a motivação da temática da dissertação. Expõe-se também quais as questões de investigação às quais se pretende obter resposta e os objetivos a cumprir.

No capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica dos conteúdos mais relevantes e basais ao tema em desenvolvimento nesta dissertação. Numa primeira parte é explorado os conceitos associados às CER, tais como, o enquadramento legislativo, quais as possíveis estruturas de funcionamento, quais os agentes que nelas atuam e que modelos de negócio se praticam atualmente. Numa segunda parte, será mais profundamente explorado o tema das transações de valor nas comunidades.

No capítulo 3, apresentam-se dois novos conceitos: Crédito de Energia e Sistema de Gestão de Créditos de Energia. Explicitam-se os fundamentos e funcionalidades destes dois novos conceitos e em que contexto se pode operacionalizar o sistema de gestão numa comunidade. No fim deste capítulo, obtém-se um conjunto de regras e fundamentos do crédito, orientando os agentes envolvidos para a boa utilização deste novo sistema de gestão integrado e intrínseco ao funcionamento das transações de valor da comunidade aonde será aplicada.

No capítulo 4, simula-se o modelo idealizado no capítulo anterior aplicado num caso de estudo e analisam-se os resultados obtidos, com o principal intuito de validar o conceito.

No capítulo 5, apresentam-se as conclusões resultantes do trabalho desenvolvido, confrontando e verificando se foram cumpridos os objetivos inicialmente propostos. São também apresentadas as respostas às questões de investigação colocadas no ponto 1.2.

Capítulo 2

Estado de Arte

O presente capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos temas de maior relevância e que servirão de base aos estudos efetuados na presente dissertação, divididos em duas grandes secções. Para além disso, é apresentada uma terceira secção com uma síntese dos conceitos estudados que serão mais importantes para o desenvolvimento dos capítulos seguintes.

A secção 2.1, relativa a Comunidades de Energia Renovável, está dividida em seis partes. Primeiro é abordada a componente legislativa e regulamentar associada às Comunidades de Energia Renovável (CER). Em segundo lugar, é detalhada a organização estrutural de uma CER, seguido pelos ativos e instalações que se encontrarão a esta associadas. De seguida, são detalhados os agentes envolvidos no funcionamento de uma CER, como funciona o fluxo de informação entre estes e o que representa o conceito de repartição de energia. Por último, apresenta-se os modelos de negócio que se podem encontrar implementados atualmente.

A secção 2.2, relativa à Transação de Valor em CER, está dividida em duas partes. Primeiro são abordados métodos de transação de valor a aplicar em Comunidades de Energia Renovável. Por último, são exploradas tecnologias transacionais que poderão ser aplicadas no contexto da transação de valor.

2.1 Comunidades de Energia Renovável

2.1.1 Legislação

No contexto europeu, mais precisamente da União Europeia (UE), o conceito de Comunidade de Energia Renovável é abordado pela primeira vez na Diretiva (UE) 2018/2001, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro [3]. Esta Diretiva estabelece metas e objetivos para a União Europeia e respetivos Estados-Membros relativas à promoção da utilização de energia de fontes renováveis, realçando a progressiva importância do autoconsumo renovável.

Para além disso, a Diretiva autoriza e incentiva os Estados-Membros a tomar um conjunto de medidas, nomeadamente, disponibilizar informações, prestar apoio técnico e financeiro, reduzir os requisitos administrativos e incluir critérios de concurso orientados para a comunidade. Esta

permite, também, a criação de períodos de licitação adaptados às CER ou, ainda, que as comunidades de energia renovável sejam remuneradas através de apoio direto, caso cumpram os requisitos aplicáveis às pequenas instalações [3].

Promove ainda a eliminação dos obstáculos regulamentares e administrativos injustificados que constituam entraves às CER, a cooperação entre o Operador da Rede de Distribuição (ORD) e as CER para facilitar as transferências de energia no seio das referidas comunidades e à não discriminação de todo o processo associado às CER, isto é, as suas atividades, direitos e obrigações enquanto consumidores finais, produtores, fornecedores, operadores de redes de distribuição ou outros participantes no mercado [3].

Já num contexto nacional, Portugal, enquanto Estado-Membro da União Europeia, desenvolveu o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030) [4], de dezembro de 2019, com vista a garantir a concretização das metas no que diz respeito às matérias de energia e clima para 2030, sendo o "principal instrumento de política energética e climática nacional para a próxima década rumo a um futuro neutro em carbono" [4], pelo que, inclui a aplicação da diretiva europeia acima referida. De acordo com a mais recente revisão efetuada à data da redação desta dissertação, no PNEC 2030 está presente o objetivo de, em 2030, alcançar uma quota de 49% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto. Para além disso, o novo documento já enviado à Comissão Europeia, fixa em 85% a meta de eletricidade de origem renovável, visto que se estima que o objetivo da versão inicial, de 80%, será atingido em 2026 [5].

Por forma a concretizar a meta do referido plano, foi publicado o Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, que "aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável, transpondo parcialmente a Diretiva 2018/2001" [6], acima explicitada, introduzindo alterações significativas no regime de autoconsumo de energia elétrica. Estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 153/2014 [7], apenas era permitido o autoconsumo individual. Com este novo Decreto-Lei permitiu-se não só o autoconsumo coletivo, mas, também, a constituição de entidades jurídicas para produção, consumo, partilha armazenamento e venda de energia renovável, isto é, a existência de CER, consagrando a definição deste conceito na legislação portuguesa [6].

Associado ao referido Decreto-Lei, entre 2020 e 2021, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) aprova e completa, revogando e aprovando novas versões de um regulamento denominado Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica (RAC), por forma a explicitar e regulamentar os regimes de autoconsumo de energia elétrica. Primeiramente, de carácter temporário, foi aprovado o Regulamento n.º 266/2020 [8], de 20 de março, e depois, após processo de Consulta Pública n.º 93 [9], foi aprovado o Regulamento n.º 373/2021 [10], de 5 de maio, revogando o anterior.

Com vista a transpor a Diretiva (UE) 2019/944 [11], do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de junho, "relativa a regras comuns para o mercado interno da eletricidade, e, parcialmente, a Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis" [12], foi publicado o Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro. O Decreto-Lei n.º 15/2022 revoga não só o Decreto-Lei n.º 162/2019, como todo um conjunto de decretos-lei anteriormente publicados referentes à organização e ao

funcionamento do Sistema Elétrico Nacional (SEN), concentrando muitas das regras e políticas nacionais (e europeias) em apenas um Decreto-Lei. Com a sua publicação, eliminaram-se ainda obstáculos legais injustificados e que dificultavam a criação das condições necessárias para o estabelecimento de soluções inovadoras, sociais e económicas, permitindo o aproveitamento de novas oportunidades tecnológicas [13].

No sentido de aprimorar a aplicação prática do Decreto-Lei supracitado, ainda em 2022, foram publicados o Decreto-Lei n.º 30-A/2022 [14], de 18 de abril, e o Decreto-Lei n.º 72/2022 [15], de 19 de outubro. Ambos foram aprovados para efetivar medidas excecionais que visam assegurar a simplificação dos procedimentos de produção de energia a partir de fontes renováveis, designadamente, instalação e entrada em funcionamento de várias infraestruturas.

2.1.2 Enquadramento e Estrutura

Como já referido anteriormente, o Decreto-Lei n.º 15/2022 estabelece o regime jurídico aplicável à produção descentralizada de energia elétrica proveniente de fontes renováveis. As unidades de produção de eletricidade associadas aos vários regimes do autoconsumo, com ou sem ligação à rede elétrica pública, denominam-se por Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) [13].

Define-se autoconsumo como o consumo assegurado por energia elétrica produzida por UPAC e realizado por um ou mais autoconsumidores de energia renovável. O diploma legal, permite ao consumidor final produzir a sua própria energia elétrica através de fontes renováveis. Para além disso, permite o armazenamento e a venda da mesma, através de mercados de eletricidade, sejam eles mercados organizados, contratos bilaterais ou de regimes de comercialização entre pares, direta ou indiretamente - na condição de que, para autoconsumidores não domésticos, essa atividade não seja a sua principal atividade profissional [13].

Para o regime de autoconsumo estão estipuladas três modalidades diferentes: Autoconsumo Individual (ACI), Autoconsumo Coletivo (ACC) e Comunidades de Energia Renovável (CER). Considera-se autoconsumo individual se a produção de energia elétrica [renovável] se situa dentro da instalação onde é consumida, ou seja, a UPAC associa-se a uma única Instalação de Utilização (IU) [13]. Já o autoconsumo coletivo é um conceito amplificado do anterior, possibilitando a produção de energia elétrica para várias IU na proximidade geográfica e elétrica da UPAC. É de referir que a UPAC está associada a vários consumidores finais que se associam de forma voluntária e repartem os custos de investimento e manutenção da unidade de produção. Caso esta partilha de energia requeira a utilização da rede pública, é necessário efetuar o pagamento das tarifas de acesso à rede [16]. Por último, no que diz respeito à produção e consumo de energia, as comunidades de energia elétrica renovável são uma modalidade de autoconsumo com um funcionamento idêntico ao Autoconsumo Coletivo, mas que difere na sua definição institucional.

De acordo com os Decretos-lei em vigor à data da redação desta dissertação, uma Comunidade de Energia Renovável é "uma pessoa coletiva, constituída mediante adesão aberta e voluntária dos seus membros, sócios ou acionistas, os quais podem ser pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada, incluindo, nomeadamente, pequenas e médias empresas ou autarquias

loais" [13]. Para além de controlar a CER, os membros, ilustrados mais a frente na Figura 2.1, tem ainda de respeitar as seguintes condições:

- Os membros ou participantes são obrigados a estar geograficamente próximos dos projetos de energia renovável ou a desenvolver atividades relacionadas com os referidos projetos da respetiva comunidade de energia, incluindo UPAC. De uma forma mais detalhada, entendem-se abrangidas pelo conceito de proximidade as UPAC e as IU ligadas por uma linha direta, por uma rede interna, ou através da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) nos diferentes níveis de tensão, desde que cumpram um dos seguintes critérios [13]:
 - Quando, no caso de UPAC ligada(s) à rede de distribuição de energia elétrica em Baixa Tensão (BT), a IU e a UPAC não distem entre si mais de 2 km de distância geográfica ou, em alternativa, estejam ligadas ao mesmo posto de transformação em baixa tensão;
 - Estejam ligadas na mesma subestação, no caso de UPAC ligadas à Rede Nacional de Distribuição (RND) e à Rede Nacional de Transporte (RNT), desde que não seja ultrapassada a distância geográfica entre as UPAC e as IU de 4 km no caso de ligação em Média Tensão (MT), de 10 km nas ligações em Alta Tensão (AT) e de 20 km nas ligações em Muito Alta Tensão (MAT).
- Os referidos projetos deverão ser detidos e organizados pela CER, podendo ser desenvolvidos por esta ou por terceiros, desde que em benefício e ao serviço da primeira [13]. Operar e gerir uma CER requer capacidade para manobrar as tecnologias a esta associadas sem colocar em causa a segurança, fiabilidade e operacionalidade da mesma. Assim, devido à complexidade e pluridisciplinaridade dos equipamentos constituintes da CER, poderá ser necessário o aconselhamento e acompanhamento por parte de entidades capacitadas para gestão e prestação de serviços de autoconsumo [17];
- O objetivo principal da CER deve ser propiciar aos membros e/ou às localidades onde opera o sentido de comunidade, benefícios ambientais, económicos e sociais em oposição a lucros financeiros. Esta filosofia não é partilhada pelas entidades investidoras e comercializadoras cujo principal objetivo é a obtenção de lucro financeiro. Assim, é necessário definir com clareza (neste capítulo, no ponto 2.1.4) a esfera de atuação de cada um dos intervenientes na comunidade de forma a adaptar o conceito de CER a modelos de negócio lucrativos [17].

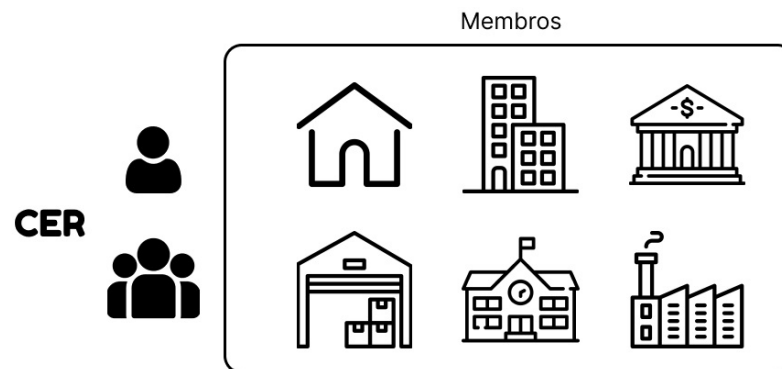


Figura 2.1: Membros que podem constituir a CER.

De acordo com o Guia Legislativo consultado [13], as valências das CER incluem:

- Produzir, consumir, armazenar, comprar e vender energia renovável com membros ou terceiros;
- Partilhar e comercializar a energia produzida pelas UPACs, exemplificadas na Figura 2.2, que lhes pertencem, em concordância com os restantes requisitos previstos, sem prejuízo para os seus membros, que deverão manter os seus direitos e obrigações enquanto consumidores;
- Aceder a todos os mercados de energia, tanto diretamente como através de agregação.

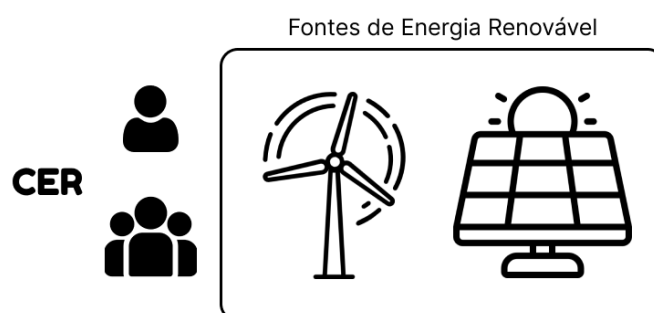


Figura 2.2: Exemplos de CER com diferentes UPAC.

Sem prejuízo do disposto anteriormente referente à sua constituição, a CER é considerada integralmente responsável pelos desvios que provocar no Sistema Elétrico Nacional (SEN) nos termos definidos no Regulamento de Operação das Redes (ROR). No entanto, existe a opção de transferir essa responsabilidade a um agregador ou ao seu representante designado [13].

O acesso dos consumidores a uma CER terá de ter por base procedimentos justificados e não discriminatórios, devendo também admitir a saída de qualquer dos seus participantes desde que este cumpra as obrigações a que esteja vinculado [13].

Além de produzir e vender, a CER pode ainda consumir e armazenar energia elétrica. O armazenamento de energia é um importante aliado à produção de energia de fonte renovável, uma vez que na maioria das vezes, esta produção, depende de fenómenos naturais incontroláveis, como a incidência de sol e vento, por exemplo. Logo, armazenar energia produzida em excesso é uma maneira eficiente de gestão da produção de energia pela comunidade [18].

2.1.3 Ativos e Instalações Relacionadas com uma CER

A cada instalação de uma CER é associada uma unidade de contagem que é caracterizada por um Código Ponto de Entrega (CPE), único e universal, formado por 20 dígitos. Se a unidade de contagem for bidirecional, é associado um Código de Ponto de Entrega de Produção (CPEp) e um Código de Ponto de Entrega de Consumo (CPEc). Caso contrário, apenas terá um CPE, em concordância com o fluxo que se verifique na instalação [2].

De seguida, elaborou-se uma lista dos vários ativos e instalações que poderão estar relacionados com uma CER [17][2]. Para cada elemento da lista, indica-se ainda quais os CPE que são passíveis de associação:

- **Instalação de Produção (IPr):** Caracteriza-se por um CPEp e possibilita um CPEc quando previstos consumos internos;
- **Instalação de Armazenamento (IA) ou Unidades de Armazenamento (UA):** Caracteriza-se por um CPEp e um CPEc, uma vez que permite fluxos bidirecionais, seja do equipamento para a CER ou para a RESP, seja destas para o equipamento;
- **Instalação de Utilização (IU) ou Instalação de Consumo (IC):** Caracteriza-se por um CPEc e possibilita um CPEp quando existe integração de UPAC ou UA;
- **Postos de Carregamento e outros equipamentos de consumo:** Caracteriza-se por um CPEc.

A localização dos equipamentos de produção determina qual a estrutura da CER, podendo os sistemas de produção de energia assumir uma das três configurações listadas a seguir e ilustradas na Figura 2.3 [2]:

- **Produção Autónoma:** CER constituída por uma (ou mais) UPAC de grande dimensão dedicadas exclusivamente à produção e à qual é associada um contador próprio;
- **Produção Integrada em Consumos:** CER constituída por uma (ou mais) UPAC de pequena dimensão integrada nas instalações de consumo, não existindo contador próprio;
- **Produção Híbrida:** CER constituída por produção autónoma e integrada em consumos.

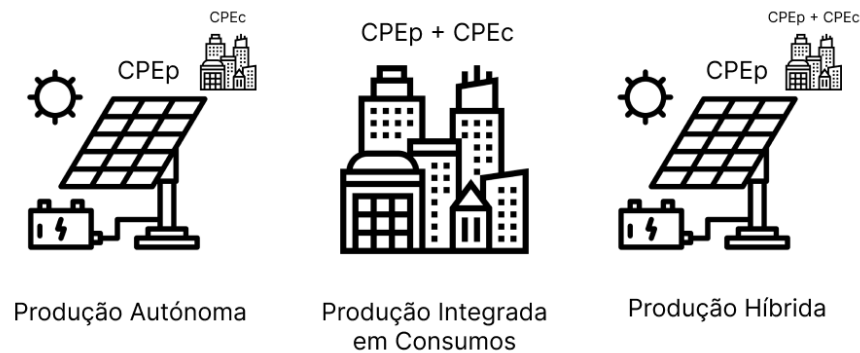


Figura 2.3: Possíveis configurações de produção [1].

Semelhante ao indicado no ponto anterior para o caso do ACC, nas CER, a utilização de redes internas, que não envolvam a utilização da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) para veicular energia elétrica entre as instalações de produção e de consumo, isentam o pagamento de Tarifas de Acesso às Redes (TAR). Por outro lado, em caso de utilização da RESP para movimentar a energia elétrica, torna-se necessário o pagamento das TAR até ao nível de tensão máximo [2].

As Unidades de Armazenamento (UA) podem ser integradas em diferentes pontos das comunidades, existindo três topologias possíveis, listadas em baixo e ilustradas na Figura 2.4 [17]:

- **UA integrada em UPAC:** o carregamento de energia na UA é entendido como consumo interno da UPAC, pelo que, a CER passa a ter atribuído um CPEc além do CPEp já existente;
- **UA integrada em IU:** o carregamento da UA é entendido como consumo da Instalação de Utilização (IU) e a extração é considerada autoprodução da IU, pelo que, a CER necessita da adoção de um CPEp além do normal CPEc;
- **UA autónoma:** pode estar ligada numa rede interna ou diretamente à RESP, pelo que, lhe são atribuídos um CPEc e um CPEp para os momentos de carregamento e de extração, respetivamente.

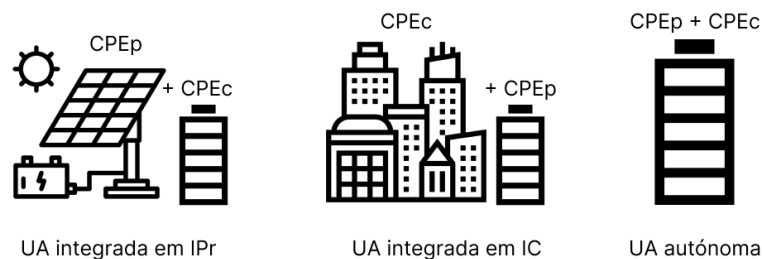


Figura 2.4: Possíveis configurações de Unidades de Armazenamento (UA), adaptado de [1].

Relativamente às tarifas para as instalações de armazenamento, as regras aplicadas são as estabelecidas para instalações de produção ou para instalações de consumo, consoante o comportamento dominante do armazenamento em cada período [17].

2.1.4 Agentes e Informação

Numa comunidade de energia renovável existem diversos agentes envolvidos, para além da própria CER e dos seus membros (já supracitados no ponto 2.1.2). Estas entidades representam pessoas jurídicas que podem fazer parte e intervir numa comunidade, independentemente do modelo de negócio e do modelo de gestão implementados. Visando a melhor compreensão da forma como cada um dos elementos mencionados no ponto anterior podem pertencer a cada um dos agentes envolvidos numa comunidade, de seguida apresenta-se uma lista desses agentes [17]:

- **Entidade investidora:** entidade jurídica responsável pelo financiamento da comunidade;
- **Operadores da Rede de Distribuição (ORD):** entidade responsável pela gestão, operação e manutenção da rede, assegurando não só os relacionamentos comerciais previstos na legislação em vigor, como também a recolha, o tratamento e a disponibilização de quaisquer dados associados ao autoconsumo;
- **Agregador:** entidade responsável pela consolidação por agregação de consumo e/ou produção de energia elétrica;
- **Comercializador:** entidade cuja atividade consiste na compra e venda a grosso e/ou a retalho de energia elétrica, em nome próprio ou em representação de terceiros, incluindo responsável pela consolidação por agregação de consumo e/ou produção de energia elétrica;
- **Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo (EGAC):** entidade responsável pela partilha da energia e pela gestão física e financeira da CER, destacando-se as seguintes funções:
 - Gestão de informação: acesso e gestão dos dados de consumo e produção dos Código Ponto de Entrega (CPE) da comunidade;
 - Gestão de repartição de energia: comunicação dos coeficientes de partilha e gestão de produção e armazenamento das unidades pertencentes à CER;
 - Relacionamentos comerciais: contrato com o comercializador para compra de energia de consumos internos com origem na rede das instalações de produção e armazenamento, contrato com o ORD para as TAR e contrato com o agregador/comercializador para venda dos excedentes.

Na Figura 2.5 apresenta-se um esquema das várias interações entre as diferentes entidades envolvidas numa CER (e na rede).

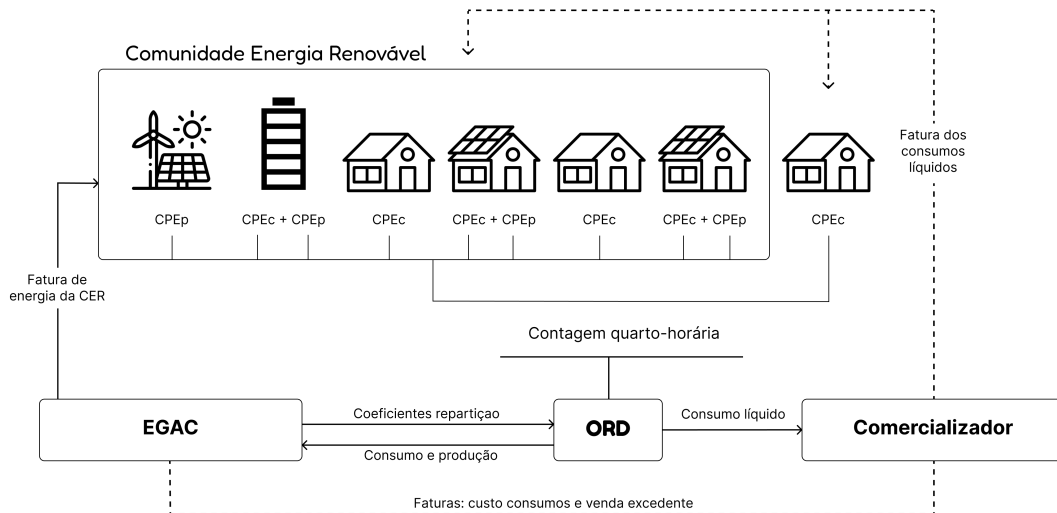


Figura 2.5: Papel da EGAC e interação com agentes envolvidos numa CER, adaptado de [2].

Em concordância com o esquema apresentado na Figura 2.5, a EGAC tem um papel fundamental na gestão da CER, incluindo a gestão da rede interna, articulação com o ORD, RESP e comercializadores, bem como a divisão da produção e relacionamento comercial a adotar para o excedente de energia, pelo que, o EGAC deverá ser o titular do contrato de excedentes de energia com um agregador. Outro exemplo reside no caso de utilização da RESP para a partilha de energia, tendo assim de existir um contrato entre a EGAC e o ORD para o pagamento das tarifas de acesso à rede. Para além disso, será ainda responsável pela repartição da energia produzida na CER.

Ainda recorrendo à Figura 2.5, podem-se encontrar, entre outros agentes da rede, produtores, consumidores e consumidores auto-produtores. Com exceção de um elemento que se encontra fora do retângulo representativo da comunidade (o que significa que não tem qualquer ligação nem participa nas atividades da CER, sendo apenas um consumidor regular da rede), todos os restantes são participantes da CER.

O ORD adquire os dados de consumo e produção das diferentes instalações numa base quarto-horária. De seguida, transmite estas informações às diferentes entidades competentes, comercializadores e EGAC, filtrando a informação de acordo com a sua participação ou não participação na CER:

- Participante na CER - O ORD recebe os coeficientes de repartição da EGAC e processa as parcelas do consumo renovável e do consumo da energia da rede. De seguida, envia ficheiros separados e independentes ao comercializador e à EGAC. A informação enviada a cada um serve para o processamento e elaboração de duas faturas complementares e independentes, uma do comercializador e outra da EGAC.
- Não participante na CER - O ORD faz o levantamento dos dados de consumo das instalações e transmite-as ao comercializador, resultando a fatura tradicional relativa ao consumo líquido, com todas as suas componentes.

2.1.5 Repartição de Energia

A repartição de energia numa comunidade de energia renovável é o termo que define a forma como a energia gerada a partir de fontes renováveis é distribuída e partilhada entre os membros da comunidade.

Para que seja possível o processo de repartição de energia, é necessário que o ORD seja capaz de obter os dados de consumo quarto-horários. Para tal, dispor de um Sistema de Medição Inteligente (SMI) é um dos requisitos para que um autoconsumidor seja membro de uma CER, uma vez que este é capaz de efetuar a recolha, tratamento e disponibilização dos dados de consumo.

Estes sistemas de medição com leitura remota, recolhem e processam os dados relativos ao fluxo de energia que ocorre na rede e comunicam com um sistema central que por sua vez agregam as informações recolhidas. Numa CER, são obrigatórios dois pontos de medição: ligação da IC do autoconsumidor à rede interna ou à RESP e ligação da UPAC à rede interna ou à RESP.

A EGAC deve comunicar ao respetivo ORD os coeficientes aplicáveis à partilha da energia pelas IC ou IA associadas ao autoconsumo, calculados em cada período quarto-horário. Os coeficientes de partilha incidem sobre a energia injetada na rede por IPr, IA ou IC com armazenamento ou UPAC integrados.

Esta repartição é feita através de um Modelo de Repartição Virtual (MRV), recorrendo às medições fornecidas pelos SMI, que agregam os consumos diários das IC. O MRV faz a repartição virtual da energia de acordo com um algoritmo que atualiza a informação sobre o consumo líquido que será atribuído a cada IC. Ou seja, ao valor que a IC consome, medido pelo contador, é subtraído o consumo da energia proveniente da IPr sem necessidade de recorrer a uma repartição física da energia.

Segundo a legislação em vigor, a metodologia definida para a partilha de energia produzida através da UPAC é fulcral visto que é este coeficiente que poderá definir a viabilidade económica da CER [13]. Assim, existem diferentes tipos de coeficientes e respetivas equações:

- **Coeficientes fixos** - diferenciados (entre outros) por dias úteis e feriados/fins de semana, podem ou não tomar em consideração as estações do ano. A energia atribuída a cada membro, E_i , resulta da energia total produzida, E_{pr} repartida pelos membros de acordo com um coeficiente fixo, c_i , definido pela EGAC, tal que (2.1):

$$E_i = \frac{c_i}{\sum_i c_i} \cdot \sum_i E_{pr} \quad (2.1)$$

- **Coeficientes variáveis** - definidos com base em critérios no consumo medido em cada período no intervalo temporal definido pela regulamentação da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). A energia atribuída a cada membro, E_i , resulta da energia total produzida, E_{pr} repartida pelos membros de acordo com a energia consumida líquida que falta suprir em cada período quarto-horário, $E_{c,i}$, de acordo com a informação obtida pelo ORD, tal que (2.2):

$$E_i = \frac{E_{c,i}}{\sum_i E_{c,i}} \cdot \sum_i E_{pr} \quad (2.2)$$

- **Combinação** das duas modalidades referidas anteriormente, desde que de acordo com a regulamentação da ERSE aplicável.

A repartição baseada em coeficientes fixos prima pela simplicidade, limitando-se a seguir os coeficientes indicados pela EGAC. Contudo, tem o inconveniente de injetar na rede os excessos individuais posteriores à repartição, o que pode acontecer mesmo que a produção total seja inferior ao consumo total da CER num determinado intervalo de 15 minutos, dado que a divisão é independente do consumo líquido, baseando-se sempre nos coeficientes especificados.

Por outro lado, a repartição baseada no consumo tem na eficiência a sua grande vantagem, maximizando o consumo de energia proveniente da comunidade e minimizando as injeções na rede. Porém todo o controlo é detido pelo ORD sem intervenção da EGAC ou da CER.

2.1.6 Modelos de Negócio

Os diferentes agentes envolvidos na constituição da CER relacionam-se entre si, desenvolvendo diferentes modelos de negócio, dependendo da entidade que detém os sistemas de produção, consumo e armazenamento, e da forma como são feitas as transações de valor dentro da comunidade.

Uma vez que, só recentemente é que as CER foram formalmente definidas no quadro regulamentar europeu, a literatura sobre modelos de negócio da CER continua dispersa e carece de uma sistematização clara dos acordos comunitários. Neste sentido, Reis et al [19]. analisa diversos projetos comunitários em toda a Europa e identifica oito possíveis modelos de negócio com um dos mais recentes e próximos do regime jurídico europeu atual como pano de fundo. Seguidamente, apresenta-se uma lista de modelos de negócio propostos em [19] de forma mais detalhada.

As **Cooperativas de Energia** representam o modelo de negócio mais comum na Europa. São organizações lideradas pelos seus membros, que se organizam com o intuito de adquirir sistemas de produção de energia, sendo as decisões e regras definidas pelos próprios membros. A cooperativa pode ter a concessão da rede pública local, acumulando nesse caso responsabilidades de operador de rede e de comercializador, comprando energia e revendendo aos seus membros. Este tipo de modelo garante o envolvimento da comunidade local, dando-lhe a oportunidade de gerir e desenvolver os seus próprios ativos, de uma forma económica e ecologicamente sustentáveis. Apresenta como principal desvantagem o facto de ser a própria comunidade a ter que angariar todo o capital para o investimento, aliada à falta de conhecimentos técnicos para lidar com as questões relacionadas com a CER. Em relação ao seu propósito, podemos ter dois tipos de cooperativas:

- Com fins lucrativos: criadas com o intuito de produzir energia elétrica, em média e grande escala, para competir com outros intervenientes do mercado;
- Sem fins lucrativos: criadas para ter acesso a energia elétrica mais barata através do auto-consumo e da venda de excedentes entre membros.

As **Comunidades de Consumidores Auto-Produtores** são criadas por consumidores auto-produtores, com o intuito de adquirir dimensão para beneficiar de preços mais acessíveis na aquisição de equipamentos de produção e armazenamento de energia, para participar em mercados de flexibilidade ou para beneficiar de iniciativas coletivas de eficiência energética. São adquiridos sistemas de produção e armazenamento e estabelecidos Power Purchase Agreements (PPA) a longo prazo, entre membros da comunidade e fornecedores de energia. Estes últimos ficam responsáveis pela compra dos excedentes da CER e pelo fornecimento da energia necessária. Os membros da comunidade podem comprar e vender eletricidade dentro da CER, isentando-os do pagamento de tarifas relacionadas com o uso da rede de distribuição. As potenciais receitas resultantes da venda de excedentes podem ser distribuídas pelos consumidores auto-produtores.

Os **Mercados Locais de Energia** são tipicamente desenvolvidos por comunidades de consumidores auto-produtores, visando colaborar entre si de forma a maximizar a sua auto-suficiência e reduzir a quantidade de energia negociada com entidades externas à comunidade. Neste modelo, as condições do negócio podem ser diretamente ajustadas entre participantes de mercado, permitindo aos consumidores auto-produtores saber a quem vendem energia e aos consumidores saber a quem compram e onde é gerada a sua energia. Estes mercados promovem as transações *Peer-to-Peer*, sendo que podem funcionar de forma descentralizada concedendo à comunidade livre negociação entre si, ou de forma centralizada com intervenção de uma entidade facilitadora. Esta entidade procura resolver desequilíbrios entre participantes do mercado e trata do consumo líquido da comunidade com um comercializador.

As **Comunidades de Produção Coletiva** são um modelo de negócio que se baseia no armazenamento e na partilha de energia autoproduzida em espaços comuns a todos os membros, por exemplo em telhados de edifícios ou nas proximidades dos locais de consumo. Normalmente, o investimento, a energia produzida e o retorno obtido pela venda de excedentes, são partilhados pelos membros.

Nas **Comunidades Patrocinadas por Terceiros** a comunidade é parcial ou totalmente financiada por entidades investidoras, que detêm o controlo, a gestão e propriedade dos ativos e suportam todos os custos e riscos conexos. A entidade investidora obtém retorno através da venda de energia produzida aos membros da comunidade. Os consumidores beneficiam de energia tipicamente mais barata enquanto estão envolvidos em projetos locais relacionados com a energia renovável.

A **Comunidade de Agregação de Flexibilidade** representa o modelo de negócio mais sofisticado e dependente da tecnologia. Tem como objetivo implementar estratégias coletivas de Demand Side Management por parte dos seus membros para fornecer flexibilidade ao operador da rede. Os mercados de flexibilidade são de difícil acesso aos pequenos consumidores. Dessa forma, são mais orientados para clientes comerciais e industriais, que são capazes de fornecer flexibilidade em grande escala. Ao reunir a flexibilidade dos vários membros da comunidade, o agregador pode alcançar volumes de negócio suficientes para esse mercado. Para isso, são assinados contratos bilaterais entre o agregador da comunidade e os membros, onde estes se comprometem a alterar o seu padrão de consumo a troco de beneficiar de custos de eletricidade reduzidos. Distinguem-se dois tipos de Demand Side Management:

- **Despachável:** Os membros da comunidade permitem que as suas cargas sejam controladas por entidades externas nos períodos de ponta;
- **Não Despachável:** Os membros estão expostos a sinais de preço dinâmicos que influenciam o seu perfil de consumo. Podem ser aplicadas penalizações caso não cumpram com os requisitos estipulados anteriormente.

A **Comunidade de Empresa de Serviços Energéticos** é uma parceria entre a comunidade e uma empresa de serviços energéticos. Este modelo de negócio permite que a empresa torne um consumidor final num consumidor auto-produtor, financiando a instalação e manutenção de um sistema fotovoltaico. Os membros da comunidade pagarão pela energia aí produzida. Podem existir dois tipos de remuneração para a instituição:

- **Poupança garantida:** os clientes pagam à empresa por um certo nível de poupança acordado;
- **Poupança partilhada:** a poupança obtida pelo serviço é partilhada pelo cliente e a empresa durante um período de tempo estipulado.

As **Comunidades de Mobilidade Elétrica** são comunidades que colaboram com uma entidade que incentiva a mobilidade elétrica através do fornecimento gratuito dos seus ativos e serviços. Esses serviços podem incluir transporte público, car-sharing ou car-pooling. As baterias dos veículos podem proporcionar serviços de flexibilidade que conseguem ser agregados para fornecer serviços auxiliares à rede. Os excedentes da produção dos membros da comunidade podem ser vendidos à entidade responsável pela mobilidade elétrica, ou oferecidos, em troca de redução ou isenção de custos com os seus serviços. Este modelo é bastante tecnológico e requer reforço das estruturas físicas de forma a lidar com os processos de carregamento bastante exigentes. Além disto, existem barreiras económicas devido ao elevado volume de investimento que é necessário.

2.2 Transação de Valor em CER

A transação de valor em Comunidades de Energia Renovável (CER) refere-se à troca de energia renovável entre os membros da comunidade mediante a utilização de valor monetário. Nesse tipo de transação, os membros realizam transações comerciais envolvendo energia. Por exemplo, se um membro da CER possui um sistema produtor de energia e obtém excedente de energia, ele poderá vender essa energia a outros membros da comunidade que precisem dela. Essa transação ocorreria através de um acordo de compra e venda de energia, no qual o vendedor receberia um pagamento monetário em troca da energia fornecida.

2.2.1 Métodos de Transação

Dentro do contexto da transação de valor numa CER, existem diferentes métodos transacionais, tais como o Mercado de Retalho Convencional, o Mercado Bilateral *Power Purchase Agreement* (Mercado Bilateral PPA) e o Mercado Local *Peer-to-peer* (Mercado Local P2P) [20]. De seguida apresentam-se estes diferentes métodos.

2.2.1.1 Mercado de Retalho Convencional

O Mercado de Retalho Convencional é um modelo tradicional de transação de energia no setor elétrico. Neste modelo, os produtores de energia renovável vendem a eletricidade gerada a empresas de distribuição de energia, que são responsáveis por fornecer energia aos consumidores finais.

Neste mercado, os produtores de energia renovável são remunerados através de tarifas de injeção de energia na rede, que são estabelecidas pelas autoridades reguladoras do mercado elétrico. Essas tarifas são determinadas considerando diversos fatores, entre eles, os custos de operação e manutenção da rede.

Os consumidores, por sua vez, adquirem energia elétrica às empresas de distribuição, pagando tarifas de consumo estabelecidas. Essas tarifas podem variar de acordo com o tipo de cliente (residencial, comercial, industrial), a potência contratada, o horário de consumo e outros fatores específicos. As tarifas são definidas pelas empresas de distribuição e aprovadas pelas autoridades reguladoras.

Neste modelo convencional, as transações ocorrem em larga escala, envolvendo grandes quantidades de energia elétrica. Os produtores de energia renovável vendem a totalidade ou parte da sua produção às empresas de distribuição, que por sua vez fornecem energia aos consumidores finais. As transações seguem as regras e preços estabelecidos pelo mercado elétrico regulado.

A principal característica deste modelo de mercado é a existência de empresas de distribuição que atuam como intermediárias entre os produtores e os consumidores de energia. Essas empresas são responsáveis por garantir a infraestrutura de distribuição, operar a rede elétrica e fornecer energia aos consumidores de acordo com as suas necessidades.

O Mercado de Retalho Convencional oferece estabilidade e segurança tanto para os produtores quanto para os consumidores. Os produtores têm a garantia de venda da energia produzida a preços acordados, o que lhes proporciona previsibilidade financeira. Os consumidores têm acesso a energia elétrica de forma confiável, com tarifas reguladas e proteção dos seus direitos como consumidores.

No entanto, é importante realçar que o Mercado de Retalho Convencional não permite uma interação direta entre os membros de uma comunidade de energia renovável. As transações ocorrem através das empresas de distribuição, que atuam como intermediárias entre os produtores e os consumidores finais.

2.2.1.2 Mercado Bilateral *Power Purchase Agreement* (Mercado Bilateral PPA)

O Mercado Bilateral PPA é um modelo de transação direta de energia entre um produtor de energia renovável e um comprador específico. Neste modelo, é estabelecido um acordo de compra e venda de energia, chamado *Power Purchase Agreement (PPA)*, entre as partes envolvidas [21].

No Mercado Bilateral PPA, o produtor de energia renovável e o comprador negociam e definem os termos do contrato, incluindo a quantidade de energia a ser fornecida, o período de duração do acordo e o preço acordado. Esse tipo de acordo geralmente tem durações de médio a longo prazo,

podendo variar de alguns anos até décadas. Durante esse período, o produtor compromete-se a fornecer uma quantidade específica de energia renovável ao comprador, enquanto o comprador se compromete a adquirir essa energia a preços previamente estabelecidos.

O Mercado Bilateral PPA oferece benefícios para ambas as partes envolvidas. Para os produtores de energia renovável, este modelo oferece a garantia da venda da energia gerada, proporcionando estabilidade financeira e previsibilidade de receitas ao longo do período do acordo. Além disso, ao estabelecer um preço fixo para a energia, o produtor pode proteger-se contra flutuações do mercado e assegurar um retorno estável sobre o investimento realizado na instalação de geração de energia renovável.

Por outro lado, para os compradores, o Mercado Bilateral PPA permite o acesso direto à energia renovável, muitas vezes a preços competitivos. Essa abordagem pode ser atraente para empresas, instituições ou até mesmo outros membros de comunidades de energia renovável que pretendam obter energia renovável e reduzir a sua pegada ecológica. Além disso, a participação em acordos PPA pode fortalecer a imagem de sustentabilidade e responsabilidade social corporativa dos compradores, demonstrando o seu compromisso para com a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis.

É importante destacar que o Mercado Bilateral PPA permite uma maior flexibilidade nas negociações entre o produtor e o comprador. Os termos do contrato podem ser personalizados de acordo com as necessidades e preferências de ambas as partes. Além disso, este modelo pode envolver diferentes tecnologias de energia renovável, tais como solar, eólica, entre outras, contribuindo para a utilização sustentável dos recursos disponíveis na comunidade, fortalecendo a sua autonomia energética.

2.2.1.3 Mercado Local *Peer-to-peer* (Mercado Local P2P)

O Mercado Local P2P é um modelo de transação de energia que permite a troca direta de eletricidade entre os membros de uma comunidade de energia renovável. Neste modelo, os participantes podem comprar, vender ou partilhar energia uns com os outros, sem a necessidade de intermediários tradicionais, como empresas de distribuição de energia.

No Mercado Local P2P, a tecnologia *blockchain* desempenha um papel fundamental na facilitação dessas transações. Através desta tecnologia, as transações de energia são registadas e verificadas de forma transparente e segura. Cada transação é registada num "bloco" que é adicionado a uma "cadeia" de transações, criando um registo imutável e confiável. Isso garante a rastreabilidade e a transparência das transações de energia, permitindo que os participantes tenham confiança no processo.

O Mercado Local P2P promove a descentralização do sistema energético, permitindo que os participantes consumam e vendam energia renovável localmente. Isso incentiva a produção e o consumo sustentáveis, reduzindo a dependência de fontes de energia não renováveis e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, o modelo fortalece a interação e a colaboração entre os membros da comunidade, estimulando o desenvolvimento de uma economia energética local mais resiliente e sustentável.

Uma das principais vantagens do Mercado Local P2P é a autonomia dos participantes. Eles têm controlo sobre a compra e venda de energia, podendo negociar diretamente entre si, estabelecendo preços e condições de acordo com as suas necessidades. Cria-se, assim, um ambiente mais flexível e personalizado, permitindo que os participantes definam as suas próprias estratégias de consumo e produção de energia.

É importante mencionar que o Mercado Local P2P não substitui totalmente o sistema elétrico convencional, mas atua como um complemento. Os participantes ainda podem estar ligados à rede elétrica convencional para garantir a confiabilidade e a segurança do fornecimento de energia. No entanto, o Mercado Local P2P permite uma maior autonomia e autossuficiência energética, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional.

Em resumo, o Mercado Local *Peer-to-peer* é uma abordagem inovadora que utiliza a tecnologia *blockchain* para permitir a transação direta de energia entre membros de uma CER. Este modelo promove a descentralização, a sustentabilidade e a colaboração, proporcionando uma forma mais flexível e personalizada de transacionar energia renovável.

2.2.2 Tecnologias Transacionais

No ponto anterior, abordaram-se diferentes métodos de transação de valor em CER. Após o estudo dos diversos modelos de mercado, surge a necessidade de criar um modelo transacional baseado no Mercado Local P2P que seja digital, que não recorra obrigatoriamente à utilização de valor monetário e, fundamentalmente, que seja um método contabilístico simples e que permita controlar e acompanhar a energia que é transacionada entre os membros da CER.

Para que seja possível a criação de um modelo transacional, é preciso abordar as tecnologias transacionais utilizadas na transação de valor em CER. Estas tecnologias desempenham um papel fundamental na melhor e mais eficiente gestão das transações de energia, garantindo transparência, segurança e eficiência.

2.2.2.1 *Blockchain*

A tecnologia *blockchain* tem se destacado como uma das principais tecnologias transacionais na transação de valor em CER. O *blockchain* é um registo digital descentralizado, partilhado e imutável, que armazena todas as transações realizadas numa rede. Funciona como um livro de atas distribuído, no qual cada transação é registada em blocos que são encadeados de forma sequencial [22].

No contexto das comunidades, esta tecnologia permite registar e rastrear as transações de energia de forma transparente e segura. Para além disso, garante a integridade dos dados, evitando a possibilidade de adulteração ou falsificação das transações. Recorre também ao uso de contratos inteligentes, que são programas auto-executáveis baseados em *blockchain*, que permitem automatizar as transações, facilitando o processo e eliminando a necessidade de intermediários.

A tecnologia *blockchain* permite às comunidades a criação de plataformas digitais que permitem aos membros realizar transações de valor, trocando diretamente energia por um valor monetário definido. Essas plataformas proporcionam um ambiente seguro e confiável para a realização das transações, promovendo a cooperação entre os membros e a eficiência na gestão da energia renovável.

2.2.2.2 Internet of Things (IoT)

A *IoT* é outra tecnologia que desempenha um papel importante na transação de valor em CER. A *IoT* refere-se à conexão de dispositivos físicos à internet, permitindo a troca de dados e informações entre esses dispositivos. No contexto da CER, a *IoT* possibilita reunir dados em tempo real da produção e do consumo de energia, como também permite o controle e a gestão inteligente dos dispositivos de produção e armazenamento de energia.

Através da *IoT*, os membros de uma CER podem monitorizar e gerir os seus sistemas de energia de forma remota e eficiente. Isso inclui a monitorização da produção de energia renovável, o controlo do consumo energético e a optimização do armazenamento de energia. Com base nos dados reunidos pela *IoT*, os membros podem tomar decisões informadas sobre a compra, venda e utilização de energia, maximizando a eficiência energética e reduzindo os custos.

Para além disso, a *IoT* possibilita a comunicação entre os dispositivos de geração e consumo de energia, permitindo a criação de redes inteligentes, conhecidas como redes elétricas inteligentes ou *smart grids*. Essas redes permitem a integração e a gestão eficiente de diferentes fontes de energia renovável, bem como a coordenação dos fluxos de energia entre os membros da CER [23].

2.2.2.3 Contratos Inteligentes

Os contratos inteligentes, supracitados no contexto da tecnologia *blockchain*, merecem uma análise separada. Referiu-se previamente que são programas de computador auto-executáveis que permitem a automação e a execução de acordos entre as partes envolvidas numa transação [22].

No caso da transação de valor em CER, os contratos inteligentes podem ser utilizados para estabelecer e executar os acordos de compra e venda de energia. Por exemplo, um contrato inteligente pode ser programado para registar automaticamente a quantidade de energia fornecida por um membro da CER e indicar um valor a receber em troca correspondente para esse membro. Da mesma forma, quando outro membro adquire essa energia utilizando um valor previamente acordado, o contrato inteligente regista a transação e atualiza os saldos energético ou de valor.

Os contratos inteligentes proporcionam transparência, segurança e automação nas transações de valor numa CER. Para além disso, eliminam a necessidade de intermediários e garantem que as transações sejam executadas conforme os termos estabelecidos, sem a possibilidade de manipulação ou falhas humanas. Por último, a automação dos contratos agiliza o processo de transação, reduzindo a burocracia e os custos associados.

2.2.2.4 Sistemas de Medição e de Gestão Inteligentes (*Smart Metering and Energy Management Systems (EMS)*)

Os sistemas de medição inteligente, também conhecidos como *smart metering*, são tecnologias que permitem a medição e a monitorização avançada do consumo e da produção de energia. Estes sistemas substituem os medidores convencionais por dispositivos mais sofisticados, capazes de registar dados detalhados sobre o consumo e a geração de energia em tempo real.

No contexto das transações de valor em CER, os sistemas de medição inteligente desempenham um papel fundamental na quantificação e verificação da energia transacionada. Eles registam com precisão a quantidade de energia consumida e produzida por cada membro da CER, permitindo a alocação correta do valor correspondente à energia e a garantia da equidade nas transações.

Além disso, os sistemas de medição inteligente permitem a comunicação bidirecional entre os medidores e as redes elétricas, facilitando a gestão da procura e a integração de diferentes fontes de energia renovável. Estes sistemas podem enviar dados em tempo real para os membros da CER e para as autoridades responsáveis, permitindo um melhor controlo e planeamento energético.

Já os sistemas de gestão de energia, conhecidos como Energy Management Systems (EMS), são plataformas ou softwares que permitem a gestão integrada e a otimização dos recursos energéticos de uma CER. Estes sistemas permitem monitorizar, controlar e otimizar a produção, o armazenamento e o consumo de energia de forma centralizada [24].

Os EMS são projetados para reunir dados de diferentes fontes, nomeadamente, sistemas de geração de energia, sistemas de armazenamento, sistemas de medição inteligente e dispositivos de consumo. Com base nesses dados, os sistemas de gestão de energia analisam e tomam decisões visando a maximização da eficiência energética e a redução dos custos.

No contexto da transação de valor em CER, os EMS desempenham um papel fundamental na gestão e no acompanhamento das transações de energia. Eles registam e rastreiam as transações de valor e gerem o saldo energético dos membros da CER, fornecendo informações em tempo real sobre o consumo e a produção de energia.

Para além disso, os sistemas de gestão de energia podem oferecer funcionalidades avançadas, como previsão de procura, gestão de carga, controlo de dispositivos inteligentes e integração com sistemas de mercado local ou P2P. Essas funcionalidades permitem uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos da CER e facilitam as transações de valor entre os membros.

2.3 Síntese do Estado de Arte

Visando o melhor entendimento dos aspetos que servirão de base para os capítulos seguintes, apresenta-se esta secção com uma síntese dos conteúdos apresentados.

Define-se autoconsumo como o consumo de energia elétrica produzida por uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) por um ou mais autoconsumidores. Para o regime de autoconsumo estão estipuladas três modalidades diferentes: Autoconsumo Individual (ACI), Autoconsumo Coletivo (ACC) e Comunidades de Energia Renovável (CER).

Considera-se autoconsumo individual se a produção de energia elétrica [renovável] se situa dentro da instalação onde é consumida, ou seja, a UPAC associa-se a uma única Instalação de Utilização (IU). Já o autoconsumo coletivo é um conceito amplificado do anterior, possibilitando a produção de energia elétrica para várias IU na proximidade geográfica e elétrica da UPAC. É de referir que a UPAC está associada a vários consumidores finais que se associam de forma voluntária e repartem os custos de investimento e manutenção da unidade de produção. Por último, as comunidades de energia elétrica renovável são uma modalidade de autoconsumo com um funcionamento idêntico ao Autoconsumo Coletivo, porém poderão estar associadas mais do que uma UPAC.

De forma mais detalhada, uma CER define-se como uma pessoa coletiva, constituída pelos seus membros, os quais podem ser pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada. Estes são obrigados a estar geograficamente próximos dos projetos de energia renovável, existindo já critérios específicos para a definição do conceito de proximidade. Os projetos deverão ser detidos pela CER, gerida pela respetiva EGAC, podendo, no entanto, ser desenvolvidos por esta ou por terceiros, desde que em benefício e ao serviço da primeira. O seu objetivo principal é permitir aos membros e/ou às localidades onde opera o sentido de comunidade, benefícios ambientais, económicos e sociais em oposição a lucros financeiros.

Numa CER existem diversos agentes envolvidos, cada um com a sua função. Assim, elaborou-se um esquema e uma lista de funções atribuídas a cada um destes intervenientes.

A repartição de energia é o termo que define a forma como a energia gerada a partir de fontes renováveis é distribuída e partilhada entre os membros da comunidade. Estudaram-se diferentes metodologias para a partilha da energia, concluindo que a repartição de energia baseada nos consumos tem como grandes vantagens a eficiência e a redução da energia injetada na rede.

Para operar um sistema de gestão é imprescindível saber que uma transação de valor refere-se à troca de energia renovável entre membros da comunidade mediante a utilização de valor monetário. Assim, estudaram-se métodos e tecnologias transacionais que, em teoria, permitissem a aplicação dos mesmos. Os métodos transacionais mais relevantes são o Mercado Bilateral PPA e o Mercado Local P2P.

Capítulo 3

Desenho do Sistema de Gestão de Créditos de Energia

O presente capítulo apresenta, em três grandes secções, um novo conceito de crédito de energia, explicitando os mecanismos e as tecnologias de criação e de aplicação dos créditos em Comunidades de Energia Renovável (CER). No fim do capítulo, espera-se obter um conjunto de regras e fundamentos do crédito, orientando os agentes envolvidos para a boa utilização deste novo sistema de gestão integrado e intrínseco ao funcionamento viável da comunidade aonde será aplicado. Desta forma, este capítulo apresenta um conceito aproximado a um manual de utilizador do sistema de créditos.

A secção 3.1, relativa à Fundamentação Inicial do Crédito de Energia Desenvolvido, está dividida em três partes. Primeiro são abordadas as definições de Crédito de Energia e de Sistema de Gestão de Créditos de Energia. Para além disso, explica-se qual o âmbito da aplicação deste sistema nas CER e, por fim, descreve-se quais são os seus intervenientes e como funcionam as suas carteiras.

A secção 3.2, relativa às Funcionalidades do Crédito de Energia, está dividida em quatro partes. Neste ponto, são abordados os conceitos de geração, transferência e anulação/consumo de créditos. Por último, é explicado como funciona a compra e venda de créditos à unidade responsável pela gestão do sistema, abordando ainda o conceito de valor de crédito.

A secção 3.3, relativa à Operacionalização do Sistema de Gestão de Créditos na CER, está dividida em três partes. Em primeiro lugar, apresentam-se quais os requisitos associados às tecnologias de geração, armazenamento e transferência de créditos, juntamente com algumas propostas de solução a aplicar numa futura implementação do *software* deste novo sistema de gestão. De seguida, esclarecem-se as condições da atual impossibilidade de interação com outras comunidades utilizando créditos como base de transferência. Por último, abordam-se os aspetos regulamentares associados ao sistema de gestão de créditos de energia.

3.1 Fundamentação Inicial do Crédito de Energia Desenvolvido

Um dos principais objetivos das CER é incentivar a produção de energia renovável, nomeadamente, energia solar, tornando o preço da energia elétrica mais acessível para os seus membros. Como já se analisou anteriormente no ponto 2.2, existem transações de valor, derivadas dos fluxos de energia naturalmente existentes, realizadas pelos membros envolvendo um pagamento monetário, segundo um de vários modelos de mercado, abordados no ponto 2.2.1.

Desta forma, a existência de um modelo de gestão eficaz da transação de valor e que permita a aplicação de vários modelos de mercado em simultâneo é essencial para o bom funcionamento da comunidade. Surge assim a motivação para criação do **Crédito de Energia**.

Visando a máxima eficiência de gestão e contabilidade, escolheu-se o método transacional de créditos de energia para elaborar este sistema de gestão inovador. Através da utilização dos créditos, pretende-se simplificar a transação de valor, onde, numa troca de energia, o valor monetário é substituído por créditos. O crédito de energia funcionará de forma semelhante a uma moeda virtual dentro da CER, sujeito a um conjunto de regras pré-definido pelo modelo e que poderá ser adaptado de acordo com o regulamento da comunidade.

Este modelo de transação de valor com recurso a créditos de energia oferece flexibilidade aos membros da CER. Assim, verifica-se uma maior facilidade em transformar valor associado aos excedentes de produção de energia renovável por parte dos membros que produzem mais do que consomem, proporcionando ainda a oportunidade a membros cujas produções são menores de adquirir energia para suprir as suas necessidades, tudo através de transações de créditos, não havendo complicações associadas derivadas da constante troca monetária e que implicaria formalidades financeiras e administrativas.

3.1.1 Definição de Crédito de Energia e Sistema de Gestão de Créditos de Energia

Este estudo propõe a criação de um sistema, o Sistema de Gestão de Créditos de Energia (SGCrE), que funciona como um sistema de gestão e contabilidade energética, permitindo, através de uma plataforma, registar, controlar e analisar as transações de valor contáveis, financeiras e de fluxo energético.

Este sistema assenta no conceito de crédito de energia, isto é, num registo digital, cujo símbolo/código será CrE. **Um Crédito de Energia é um valor simbólico de contabilização de uma transação de valor não liquidado**, pelo que, funcionará como uma unidade de contabilidade de energia renovável. São exemplos de transações de valor não liquidadas uma transferência de energia de origem renovável não paga ou a verificação do pagamento de energia de origem renovável não entregue. Em ambos os casos, ainda não ocorreu a liquidação, podendo o valor ser contabilizado por créditos de energia.

Cada crédito (1 CrE) equivale a 1 kWh de energia renovável. Este valor energético é invariante no tempo, isto é, o crédito de energia permanece constante e não é afetado pelo tempo em que é gerado ou consumido. No entanto, o valor monetário do CrE depende do momento em que é

gerado ou em que é liquidado. Um CrE pode ser gerado com um determinado valor monetário e liquidado num outro momento posterior com outro valor diferente.

Os créditos de energia assumem quantidades positivas ou negativas contínuas, de acordo com a origem e o destino da transação, sendo sempre gerados em carteiras de créditos (que serão abordadas de seguida, no ponto 3.1.3). O termo "contínuas" refere-se à capacidade do registo digital de assumir valores decimais, permitindo transações com frações ou partes menores de uma unidade. Por exemplo, ser capaz de representar 0,1 ou 0,01 da unidade de CrE.

Uma transação é caracterizada pelo momento da transação, pelo par de carteiras onde o crédito foi movimentado e pela quantidade transacionada. Para além disso, uma transação está sempre associada a um par simétrico de créditos gerados nas duas carteiras entre as quais se dá a transação, onde numa das carteiras é somado o valor positivo da transação na outra é somado o correspondente valor negativo. Desta forma, o somatório de todos os créditos positivos e negativos de todas as carteiras de uma CER deverá sempre ser zero. Para além disso, o somatório de todos os créditos positivos, que será igual ao módulo do somatório de todos os valores negativos, designado "Número Base de Créditos" (NBC), representa a totalidade de créditos a circular na CER num dado momento de análise.

Para além disso, o crédito de energia é indiferenciado, ou seja, cada unidade digital não tem um código único, permitindo que quantidades diferentes com registos distintos sejam somadas e resultem numa quantidade somada com um único registo. Isso implica que a representação digital do CrE não faça distinção entre diferentes registos, permitindo que as quantidades sejam agregadas sem a necessidade de identificadores exclusivos para cada unidade.

3.1.2 Âmbito de Aplicação do Sistema de Gestão de Créditos de Energia em CER

O principal objetivo de um sistema de gestão de créditos de energia é fornecer informações relativas às transações de energia precisas e atualizadas para apoiar a tomada de decisões estratégicas e o cumprimento das normas e regulamentações vigentes na CER.

Relembrando o supracitado no ponto 3.1.1, os créditos estão desenhados para simplificar a transação de energia elétrica dentro da CER. Estes créditos podem ser trocados por um valor monetário ou outro tipo de valor virtual ou real, desde que seja reconhecido e acordado pelos agentes envolvidos na transação.

A aplicação do SGCrE numa Comunidade de Energia Renovável permite controlar e gerir a produção, o consumo e o fluxo de energia renovável, incluindo também as trocas entre membros da CER. Obtendo estas informações, o sistema gere as carteiras de créditos, acerta os balanços com a EGAC, emite relatórios de transações e assegura o cumprimento das obrigações regulamentares da CER, tal como a liquidação do saldo de créditos.

Dentro da comunidade, os créditos podem servir de moeda de troca entre os membros. Apesar de poder ser usado como moeda de troca fora do âmbito da produção e consumo na CER, a natureza local dos créditos obriga a que tenham de voltar à posse de um agente detentor de uma carteira para ser liquidado por energia real ou valor monetário.

A utilização de créditos promove um novo método de transação de valor dentro da comunidade, proporcionando uma forma mais fácil de transacionar energia em troca de outros produtos e serviços que não sejam necessariamente valores monetários. No seguimento deste raciocínio, o SGCrE pode gerir as seguintes formas de troca de valor:

- **CrE por kWh e vice-versa:**

O SGCrE garante a gestão da energia e dos créditos transacionados, sendo sincronizada informação dos fluxos de energia com os registos de contabilização de créditos.

De forma mais aprofundada, esta forma de transação de valor possibilita a gestão de mecanismos de *netmetering* (em Portugal, é um método aplicado por comercializadores que se baseia no desconto de alguma energia que um cliente injeta na RESP à energia consumida na sua fatura) [25] dentro da comunidade ao nível da gestão da EGAC.

Este mecanismo proporciona vantagens interessantes, nomeadamente, para os consumidores auto-produtores, que podem transferir as suas produções de excesso para outras horas em que apresentam défice de auto-produção.

Para além disso, a troca de créditos por energia (e vice-versa) permite o desenvolvimento de mercados locais em que se adquire oportunamente créditos num momento de energia barata para os vender em momentos de energia mais cara.

Este tipo de transação é, por isso, uma forma de ajuste temporal, evitando múltiplas faturasções e consequentes encargos fiscais associados a um produto que na verdade pertence ao consumidor e é consumido pelo próprio consumidor.

- **CrE por valor monetário e vice-versa:**

Uma vez que o SGCrE garante a gestão da energia e dos créditos transacionados e apresenta os respetivos registos contabilísticos, pode servir de base para fins de faturação e cumprimento de requisitos fiscais.

A transação envolvendo troca de créditos por valor monetário (no caso Português, euros) tem várias aplicações vantajosas.

Em primeiro lugar, proporciona formas de angariação de investimento para os projetos de produção e manutenção da comunidade, onde o investidor faz um aporte financeiro em troca de créditos, que poderá consumir mais tarde em troca de energia, ou transacionar mais tarde num dos modelos de mercado existentes na comunidade (como por exemplo P2P), ou ainda vender à EGAC em momento oportuno para ambos.

Outra vantagem da aplicação deste tipo de transação é permitir à EGAC gerir melhor o seu *cash-flow*, vendendo antecipadamente créditos para serem gastos ao longo do período seguinte de consumo da energia. Desta forma evitam-se possíveis perdas comerciais (dificuldades relacionadas com o incumprimento de pagamento dos membros consumidores) que podem ocorrer quando a energia é paga à posteriori.

- **CrE por compensação de serviços ou bens:**

A transferência de créditos para compensar serviços ou bens é um mecanismo de transação semelhante a uma moeda digital, em que o CrE é a moeda digital, tendo todas as vantagens de uma moeda digital local que pode ser usada por membros da comunidade que detenham uma carteira de créditos nessa comunidade.

O SGCrE permite ainda a transferência de créditos para compensação de serviços ou bens. Neste caso, o SGCrE apenas gere a transferência unilateral dos créditos entre os intervenientes envolvidos na transação, não garantindo a transferência do bem ou serviço (ficando esta verificação a cargo do membro emissor da transferência de créditos).

Uma vez analisadas quais as transações passíveis de serem aplicadas pelo sistema de gestão de créditos de energia no âmbito de uma comunidade de energia, iremos verificar quem pode efetuar essas transações, isto é, quem tem acesso a uma carteira de créditos de energia.

3.1.3 Intervenientes e Carteira de Créditos de Energia

A carteira de créditos de energia é uma carteira digital, uma vez que este é um mecanismo seguro e conveniente para armazenar, receber e enviar créditos de energia. A carteira de créditos consiste assim numa representação virtual, através de uma plataforma, dos créditos detidos por cada interveniente.

Um determinado saldo de créditos pode manifestar-se com valores positivos ou negativos. O primeiro representa uma quantidade de crédito em kWh, o qual indica a disponibilidade de energia que já foi previamente paga e que pode ser consumida. Em contraste, um valor negativo corresponde a uma dívida em kWh, significando que existiu o consumo de energia do qual ainda não foi efetuado o devido pagamento.

Alinhado com o explicitado no ponto 2.1.4, existem vários intervenientes numa CER e estes terão acesso a uma carteira de créditos de energia. Desta forma, a seguir identificam-se todos os intervenientes e como funcionará a sua carteira:

- **EGAC:**

É a entidade responsável pela gestão de todo o mecanismo de créditos (aliada à gestão da CER). Assim, a sua carteira funciona de forma invertida aos restantes intervenientes deste sistema. O saldo da sua carteira de créditos ser positiva determina que os outros intervenientes lhe devem o pagamento de energia, isto é, há energia que foi distribuída pela CER e não foi paga, seja pelos membros ou pelo exterior. Por outro lado, créditos negativos indicam que há membros com direito a consumir energia que ainda não foi repartida pela comunidade.

- **Consumidor:**

É um membro que utiliza créditos para pagar a energia consumida, que foi produzida dentro da CER. Se a sua carteira apresentar saldo negativo significa que consumiu energia que ainda não pagou. Por outro lado, se o saldo for positivo, significa que pagou por energia que não consumiu.

- **Produtor:**

Este agente detém uma ou mais unidades de produção integradas na CER, produzindo energia que será trocada por créditos. Como não consome, um produtor apenas apresentará saldos não-negativos. Isto deve-se a duas situações: quando produz energia que é injetada na CER, a sua carteira fica positiva uma vez que partilhou com a comunidade energia que não lhe foi paga; e a única forma de gastar créditos será através de transferências de créditos para outros membros, incluindo a EGAC (ver ponto 3.2.2), normalmente em troca de um valor monetário.

- **Consumidor Auto-Produtor**

É um membro consumidor, mas detém produção própria que está integrada na sua rede interna (logo é simultaneamente consumidor e produtor), pelo que, pode fornecer os seus excedentes à comunidade em troca de créditos. Uma vez que é uma entidade única, terá uma carteira, mas que apresentará uma fusão das características dos dois intervenientes referidos anteriormente: o saldo será negativo se consumir energia que não foi paga e positivo se fornecer à CER energia pela qual ainda não foi ressarcido.

- **Investidor da CER:**

É um investidor nas centrais da CER, isto é, efetuou um aporte financeiro (ver ponto 3.2.1.2) na comunidade e é-lhe atribuída uma carteira, recebendo créditos em troca do investimento efetuado. Desta forma, a sua carteira funcionará de igual forma à do produtor, no sentido de ser uma carteira cujo saldo será sempre não-negativo.

- **Carteira Externa:**

Esta é uma carteira virtual, não estando associada a nenhum interveniente verdadeiro. O seu principal objetivo é permitir que a EGAC mantenha um controlo mais simples e eficaz do seu saldo contabilístico com o exterior da CER. Se o saldo da carteira externa for negativo, significa que falta à CER receber pela energia que fluiu para a RESP (rede externa à comunidade). Uma vez que a CER apenas pode consumir energia renovável, a Carteira Externa não deverá, em momento algum, apresentar saldo positivo.

Sabe-se ainda que quando o somatório de créditos das carteiras de todos os produtores é positiva, então a CER tem excesso de energia produzida que não foi paga. Por outro lado, quando o somatório de créditos das carteiras de todos os consumidores é positiva, a CER está com défice de energia que foi paga, mas ainda não foi gerada.

Assim, o sistema proposto utiliza créditos de energia como uma unidade de contabilidade de transações não liquidadas de energia e a carteira de créditos de energia é uma carteira digital a que cada interveniente da CER tem acesso. Os intervenientes incluem a EGAC (entidade responsável pela gestão dos créditos), consumidores, produtores, consumidores auto-produtores e investidores da CER. Cada interveniente terá um saldo positivo ou negativo na sua carteira, dependendo das transações de energia realizadas. Para além disso, existe uma carteira externa que permite à EGAC efetuar o controlo contabilístico em relação ao exterior da CER. Uma vez explicitados o funcionamento da carteira digital e quais os intervenientes que tem acesso a uma carteira, exploraram-se as principais funcionalidades do Crédito de Energia.

3.2 Funcionalidades do Crédito de Energia

Neste ponto, serão exploradas as principais funcionalidades do Crédito de Energia (CrE). Um crédito de energia é uma unidade de contabilidade de energia, permitindo registar transações de valor não liquidado e promovendo a gestão eficiente dos fluxos de energia dentro da comunidade. Desta forma, é importante perceber como este é gerado e transacionado dentro de uma comunidade.

3.2.1 Geração de Créditos

Na base da geração de créditos encontram-se alguns dos conceitos explicados no ponto 3.1.1, uma vez que a geração de créditos de energia está associada a um desequilíbrio contabilístico de energia. Este fenómeno decorre de transações de valor ou de energia entre os agentes da comunidade. Estas transações ocorrem sempre em pares simétricos de créditos positivos e negativos, visando garantir o equilíbrio do sistema.

Esta abordagem assegura que a quantidade total de créditos na comunidade seja mantida, e quando somada, o resultado será sempre igual a zero. No entanto, para analisar as relações contabilísticas e qual a quantidade de créditos em circulação, e recuperando a explicação na secção anterior, recorre-se aos valores absolutos (utilizando a função modular), uma vez que, em qualquer momento, o NBC é igual a metade do somatório absoluto dos créditos de todas as carteiras existentes no SGCrE.

Para efeitos contabilísticos, na geração de um crédito (uma unidade) verifica-se o aumento do NBC em uma unidade (ou seja, ocorre a adição absoluta de dois créditos, um positivo e um negativo).

Existem três casos onde se considera a existência de geração de créditos de energia e cada um deles apresenta diferentes características: produção de energia numa central autónoma de um produtor e excedentes de um consumidor auto-produtor, injeção monetária por via de investimento nas infraestruturas da CER e energia utilizada por um consumidor com carteira negativa.

A produção de energia numa central pertencente à CER não resulta na geração de créditos, uma vez que a CER produz energia renovável e mantém na sua posse essa energia, não existindo nenhum desequilíbrio contabilístico.

3.2.1.1 Central Autónoma de um Produtor e Excedentes de um Consumidor Auto-Produtor

O conceito de central de um produtor baseia-se numa central de energia renovável que pertence a um membro da comunidade (e não à CER) e que está ligada à rede da CER, injetando na rede da comunidade a energia produzida.

Considere-se ainda que um consumidor auto-produtor, num dado momento, obteve excedente, isto é, produziu mais energia renovável do que teve necessidade de consumir. Neste momento, este consumidor auto-produtor comporta-se como um produtor uma vez que este excedente de energia será injetado na CER, pelo que, se enquadra nesta subsecção referente à geração de créditos.

Assim, quando um produtor possui uma central ligada à comunidade, a produção de energia renovável dessa unidade resulta na geração de créditos positivos na carteira do produtor. Este fenómeno deve-se ao facto de a energia da central não pertencer à comunidade mas estar a ser consumida pela mesma.

Em simultâneo, o mesmo número de créditos negativos será gerado na carteira da EGAC, equilibrando o saldo contabilístico de créditos de energia da CER.

Serão assim gerados créditos positivos na carteira do produtor e igual número de créditos negativos na carteira da EGAC.

3.2.1.2 Injeção Monetária na CER

Entende-se por injeção monetária na CER o ato de um investidor realizar um aporte financeiro nesta. Esse investimento pode ser direccionado para a construção, expansão ou manutenção de centrais de geração de energia renovável pertencentes à comunidade.

Desta forma, a injeção monetária desencadeia a geração de créditos positivos na carteira do investidor. Essa ação representa o valor investido na forma de créditos de energia.

Em simultâneo, o mesmo número de créditos negativos é gerado na carteira da EGAC, refletindo o débito de energia correspondente ao valor do investimento recebido. O valor do crédito será abordado mais à frente nesta dissertação, no ponto 3.2.4.1.

Serão assim gerados créditos positivos na carteira do investidor e igual número de créditos negativos na carteira da EGAC.

3.2.1.3 Consumo de Energia pelo Consumidor com Carteira Negativa

Quando um consumidor, cuja carteira apresenta um saldo negativo, consome energia renovável pertencente à CER ocorre um desequilíbrio, uma vez que este está a consumir energia sem realizar o seu pagamento no imediato. Cada vez que um consumidor utiliza 1 kWh de energia da CER, um crédito negativo é gerado na sua carteira.

Simultaneamente, um crédito positivo é adicionado na carteira da EGAC por forma a obter o equilíbrio contabilístico do sistema. Serão assim gerados créditos negativos na carteira do consumidor e igual número de créditos positivos na carteira da EGAC.

Se o saldo da carteira do consumidor fosse não-negativo, o consumo de créditos não deixaria de ocorrer, porém o NBC manter-se-ia inalterado, pelo que, não existira geração de créditos.

3.2.2 Transferência de Créditos

A transferência de créditos de energia permite que os membros dentro da comunidade de energia transfiram créditos positivos entre si. Ou seja, apenas é permitido a um membro ser ordenante de uma transferência se este apresentar um saldo positivo, não podendo transferir uma quantia de créditos superior à quantidade de créditos que possui. Exceções aplicam-se à carteira da EGAC, visto ser esta a responsável pelo controlo do SGCrE.

A transferência de créditos de energia ocorre diretamente entre a carteira do ordenante, de onde são oriundos os créditos, e a carteira do beneficiário, destinatária dos créditos envolvidos na transferência.

A transação é registada na plataforma digital da comunidade de energia. Na base do processo digital da transferência, subtrai-se os créditos na carteira do emissor e soma-se igual quantidade de créditos na carteira do recetor.

3.2.3 Anulação e Consumo de Créditos

Recuperando a informação supracitada relativa à geração de créditos de energia (no ponto 3.2.1), esta ocorre sempre em pares simétricos de créditos positivos e negativos, visando garantir o equilíbrio do sistema. Para além disso, deve-se recorrer à análise de valores absolutos para determinar o NBC em circulação no SGCrE.

No seguimento deste raciocínio, a anulação de créditos ocorre sempre que, em termos absolutos, o valor total de créditos do sistema diminui.

Por outro lado, a definição de consumo de créditos por um membro define-se como a utilização de créditos, isto é, quando o número de créditos na carteira de um membro diminui.

No entanto, o consumo de créditos não determina a anulação destes. Para demonstrar isto, é importante retomar a explicação do ponto 3.2.1.3, caso em que o consumidor cuja carteira apresenta saldo negativo está a consumir energia que ainda não foi paga (pelo que, consome créditos, isto é, está a gerar créditos negativos na sua carteira e, em simultâneo, créditos positivos na carteira da EGAC). Assim, apesar de estar a consumir créditos (já que o número de créditos na sua carteira diminui), de um ponto de vista contabilístico do SGCrE, não está a consumir créditos, mas sim a gerar uma vez que o NBC aumenta.

Ainda no mesmo ponto, é referido que "se o saldo da carteira do consumidor fosse não-negativo, o consumo de créditos não deixaria de ocorrer", sendo este o principal exemplo de consumo de créditos onde não existe geração nem anulação dos mesmos, isto é, o NBC mantém-se inalterado no fim da operação. Este cenário encontra-se frequentemente nas carteiras de consumidores auto-produtores e de consumidores que comprem antecipadamente créditos para depois os consumirem.

Referente à anulação de créditos, existem dois casos onde se considera a de eliminação de créditos de energia e cada um deles apresenta diferentes características: a transferência de créditos para um membro com carteira cujo saldo é negativo e a liquidação financeira, de créditos negativos e de créditos positivos.

3.2.3.1 Transferências envolvendo um Membro com Carteira Negativa

Quando um membro cuja carteira apresenta um saldo negativo recebe uma transferência de créditos de outro interveniente, ocorre anulação de créditos. Este facto decorre de que, somando créditos positivos (oriundos da carteira do ordenante) aos créditos negativos (presentes na carteira do beneficiário), o total absoluto de créditos do sistema diminui. A aplicação prática deste caso será ilustrada de forma simplificada no caso de estudo, no capítulo 4.

3.2.3.2 Liquidação Financeira de Créditos Negativos

Por liquidação financeira de créditos negativos entende-se que um detentor de créditos negativos (qualquer que este seja, entre todos os intervenientes, com exceção da EGAC), isto é, que tem energia consumida que ainda não foi paga, salda a dívida existente. O pagamento da dívida existente poderá ser feito adquirindo créditos positivos [até que a carteira tenha zero créditos], podendo ocorrer de duas formas:

- Aquisição a outros membros (num processo que implica a aplicação do caso anterior): realizando um ou mais acordos com outros membros que detenham créditos positivos e efetuando a transferência dos mesmos para a sua carteira (relembrando que quaisquer valores monetários envolvidos nesta transação são externos ao sistema e dependem apenas dos membros intervenientes no acordo);
- Aquisição à EGAC: mediante acordo monetário com a EGAC (ficando a dívida saldada por um valor que é devidamente acordado e dinâmico - o valor do crédito será abordado no ponto 3.2.4.1) e sendo efetuada igualmente uma transferência de créditos da carteira da EGAC para a carteira do devedor.

3.2.3.3 Liquidação Financeira de Créditos Positivos

Por liquidação financeira de créditos positivos entende-se que um detentor de créditos positivos (qualquer que este seja, mas normalmente produtores ou investidores da CER) pretende desfazer-se dos seus créditos. Para tal, recorrem à EGAC, que pagará um valor monetário acordado com o membro, ocorrendo a anulação dos respetivos créditos de energia.

3.2.4 Compra e Venda de Créditos à EGAC

A compra e venda de créditos de energia é uma funcionalidade que permite aos agentes da comunidade adquirirem créditos adicionais ou venderem os seus créditos excedentes à EGAC. A transação é registada na plataforma como uma transferência de créditos entre a EGAC e o interveniente.

Não está planeado na implementação do SGCrE, uma vez que este é um sistema contabilístico que pretende simplificar a transação de valor (e não uma plataforma de controlo e registo de transação de valor monetário), a existência de um registo externo que permita a ambas as partes

assegurar que o valor monetário acordado por estas é transferido em sentido contrário da transferência de créditos, porém é aconselhada para garantir a segurança das transações entre membros da comunidade.

Apesar de um crédito corresponder a uma unidade constante de energia, o valor monetário atribuído a cada crédito é dinâmico no tempo, pelo que, de seguida será abordado mais profundamente o valor do crédito.

3.2.4.1 Valor do Crédito

Recordando a informação presente no ponto 3.1.1, o valor do crédito é definido com base na equivalência de 1 CrE para 1 kWh de energia renovável produzida. Reforça-se ainda a ideia que o valor energético associado ao crédito é invariante no tempo, visto que a equivalência entre CrE e kWh permite que os membros da comunidade compreendam facilmente a quantidade de energia que estão a consumir ou gerar.

Por outro lado, o valor monetário associado a cada crédito não é constante no tempo, isto é, poderá ter um valor diferente no momento em que é consumido quando comparado com o valor quando foi gerado.

Esta variação vai de encontro às variações dos modelos de mercados praticados na comunidade. De acordo com os estudos elaborados no capítulo anterior, no ponto 2.2.1, poderão existir vários modelos de mercado local e o SGCrE tem a vantagem de permitir a implementação simultânea de vários modelos.

Dependendo da comunidade e dos seus agentes, uma vez que a aplicação de cada um dos modelos varia de caso para caso, o tipo de mercado poderá ser bastante diversificado, pelo que, de seguida são apresentados alguns possíveis exemplos de aplicação, todos passíveis de co-existirem em paralelo:

- EGAC: a entidade responsável pelo SGCrE poderá estabelecer um valor de compra e venda (separados por uma margem), também este dinâmico, que poderá servir de referência para os restantes agentes da comunidade;
- Mercado Local P2P: as duas partes envolvidas (comprador e vendedor) definem um valor monetário, que poderá ter por base os preços de referência em vigor no momento do acordo;
- Mercado Bilateral PPA: as duas partes envolvidas acordam por um determinado período de tempo uma certa quantidade de créditos, e todos os pagamentos de valor monetário efetuados durante este período serem baseados num preço dinâmico de referência, baseado no balanço de produção e consumo internos da comunidade.

Poderá ainda existir um valor, também este dinâmico, de referência para o preço de compra e venda de créditos entre os membros da comunidade, e que vai de encontro ao balanço entre produção e consumos internos da CER.

No entanto, exceções poderão ser aplicadas aos valores praticados na CER, desde que autorizadas por todos os seus membros. Uma situação comum de exceção é o caso de injeção monetária,

onde poderá ser do interesse da CER beneficiar ou recompensar o investidor, com o intuito de atrair um aporte financeiro na comunidade.

3.3 Operacionalização do Sistema de Gestão de Créditos na CER

Uma vez definidas quais as características e funcionalidades que estão na base do sistema de gestão de créditos de energia, segue-se a explicação da sua operacionalização. A operacionalização aborda várias temáticas: quais as tecnologias que poderão estar na base da implementação e funcionamento deste sistema de gestão de créditos de energia numa da comunidade, estudo da possibilidade de transferência de créditos entre diferentes comunidades e estudos iniciais de averiguação da existência de regulamentação associada ao sistema.

Considera-se que a preparação e o dimensionamento da operacionalização do sistema de créditos apresenta um grau de exigência elevado, uma vez que o seu bom funcionamento é essencial para garantir a eficácia dos mecanismos de energia renovável dentro da comunidade conceptualizados nas secções da Fundamentação Inicial do Crédito de Energia Desenvolvido e das Funcionalidades do Crédito de Energia.

Primeiramente, para que a operacionalidade tenha a possibilidade de ser posta em prática, deverão ser definidos quais os requisitos das tecnologias de geração, armazenamento e transferência de créditos, delineando uma estrutura tecnológica, isto é, que tipo de aplicações de *software* do sistema podem ser abordadas para o seu desenvolvimento.

3.3.1 Tecnologias de Geração, Armazenamento e Transferência de Créditos

No contexto dos sistemas de créditos de energia, o *software* desempenha um papel crucial no sistema desenvolvido, para assegurar uma gestão eficiente e um controlo efetivo e transparente dos créditos. O *software*, sendo uma unidade coesa, pode ser analisada como um conjunto de partes separadas, para facilitar a sua conceção: geração, armazenamento e transferência de créditos.

Aproveitando alguns conhecimentos adquiridos sobre tecnologias transacionais apresentados no ponto 2.2.2, delinearam-se alguns tipos de tecnologias que poderiam ser futuramente aplicadas no desenho do *software* associado a este sistema. Neste ponto, irá ser feita uma análise das principais características e do mecanismo de funcionamento que esse *software* poderá apresentar.

Todos os módulos a seguir descritos (geração, armazenamento e transferência) poderão assentar numa tecnologia baseada em *Blockchain* visto que permite o registo seguro e imutável de transações, garantindo a transparência e a fiabilidade destas e permitindo que os membros verifiquem facilmente a origem e a validade dos créditos, sem recorrer a intermediários para efetuar transações.

O módulo do *software* respeitante à geração de créditos de energia será utilizado para monitorizar e controlar os sistemas de geração dos créditos de energia. Considerando que a comunidade possui produção distribuída, ele deverá ser capaz de recolher dados em tempo real sobre a produção e sobre as transferências de energia (sempre dependente do fornecedor das informações, o

ORD), permitindo determinar num espaço reduzido de tempo a quantidade de créditos atribuídos a cada um dos membros da comunidade com base na energia renovável gerada e/ou trocada.

O módulo do *software* respeitante ao armazenamento de créditos de energia é baseado no uso de carteiras digitais individuais para cada membro da comunidade. Cada carteira é uma representação digital da quantidade de créditos de energia na posse de cada membro. Estas carteiras deverão ser criadas e geridas através do *software*, que registará e atualizará todas as transações relacionadas aos créditos de energia, permitindo que os membros verifiquem o saldo dos seus créditos de forma contínua.

O módulo do *software* respeitante à transferência de créditos deverá permitir que os participantes realizem transações seguras e transparentes de créditos. Deverá permitir transferir créditos entre os membros, verificando a disponibilidade dos mesmos e registando as transações de forma precisa. Este *software* poderá ainda incluir funcionalidades de emissão de relatórios e análises, fornecendo informações sobre as transações realizadas e o histórico de transferências.

Dito isto, existe ainda um conjunto de características que se consideram ser transversais a todos os módulos do *software*.

Em primeiro lugar, deverá ser um *software* cuja interface seja intuitiva, permitindo aos membros (utilizadores) que realizem as operações pretendidas sem grandes dificuldades.

A segurança das carteiras digitais é também uma preocupação fundamental no seu funcionamento, podendo-se recorrer a tecnologias de criptografia para a sua implementação. As informações armazenadas nas carteiras deverão ser encriptadas, impedindo o acesso não autorizado aos dados dos membros. Mecanismos robustos de autenticação (tais como *token* de segurança, reconhecimento biométrico e autenticação em duas etapas) deverão também estar incluídos na implementação para garantir a proteção dos dados e a integridade das transações.

Essas características funcionais, como um todo, deverão permitir criar um ambiente seguro, transparente e eficiente para a utilização do SGCrE (incluindo a criação e gestão de carteiras digitais individuais, o registo dos fluxos de energia renovável e o registo de transações entre membros), garantindo fiabilidade, a privacidade e a precisão de todo o fluxo de informação.

Uma vez delineados alguns requisitos que poderão ser úteis na construção do *software* associado a um SGCrE a aplicar numa CER, é importante perceber se existe a possibilidade de transferir créditos entre comunidades, não apenas do ponto de vista económico, mas também porque, caso essa transferência seja possível, os requisitos associados ao *software* deverão ser atualizados, visando permitir tal funcionalidade.

3.3.2 Transferência de Créditos entre Comunidades

Entende-se a transferência de créditos entre comunidades como a possibilidade de transferir créditos de energia renovável de uma CER para outra.

Os créditos de energia são um registo de valor simbólico que apenas pode ser liquidado quando consumida energia real produzida na CER onde o CrE foi gerado. Consequentemente, um SGCrE pode ser aplicado apenas no âmbito de cada comunidade e um crédito gerado numa comunidade não pode ser transacionado para outra. Da mesma forma que um agente não pode produzir energia numa dada CER "A" e consumir essa energia noutra CER "B", não poderá trocar créditos entre ambas as comunidades, por este ser um valor simbólico que representa essa energia.

Num caso hipotético futuro em que as regulamentações e o mercado de energia permitisse a possibilidade de transferência de energia, as comunidades que gerassem um excedente de energia renovável teriam a possibilidade de transferir créditos para outras comunidades que detivessem permanentemente uma menor capacidade de produção de energia renovável. Para além disso, ajudaria a promover a transição energética em áreas que enfrentem desafios específicos, como falta de recursos naturais ou restrições geográficas. Essa transferência de créditos entre comunidades poderia ocorrer em diferentes níveis, dependendo da estrutura do sistema de créditos, mas deveria estar sempre assente nas políticas estabelecidas por cada uma das comunidades. A transferência poderia ser realizada por meio de transações financeiras ou acordos de compensação, onde uma comunidade transferiria os seus créditos para outra em troca de benefícios futuros ou valor monetário.

Em todos os casos, a única entidade de cada comunidade que poderia efetuar esta operação continuaria a ser a EGAC, uma vez que esta é, atualmente, a única que pode assegurar o equilíbrio contabilístico após qualquer desvio criado no sistema. Assim, apenas seria permitido se duas EGAC estabelecessem um acordo que permitiria a ocorrência dessa transação.

Reforça-se assim a ideia de que, atualmente e de um ponto de vista prático, a transferência de créditos entre comunidades não é possível, decorrente das limitações impostas pelos regulamentos e leis, pelo estado atual mercado de energia e ainda pelas infraestruturas de cada comunidade.

Contudo, no decorrer do trabalho que conduziu a esta dissertação, não se encontraram regulamentações que impedissem qualquer agente de pertencer a mais do que uma comunidade, pelo que, este poderia vender e comprar créditos nas várias comunidades, obrigando o agente a ter uma carteira em cada uma delas.

No seguimento da análise de regulamentação, torna-se pertinente abordar a temática da regulamentação associada ao próprio sistema de gestão e à sua implementação numa comunidade.

3.3.3 Aspetos Regulamentares do SGCrE

Proposto no desenvolvimento desta dissertação, o Sistema de Gestão de Créditos de Energia (SGCrE) é uma ideia original. Sendo este o primeiro exercício de definição de uma estrutura de regras e funcionalidades, naturalmente, ainda não existe qualquer tipo de regulamentação associada a este tipo de sistemas.

No entanto, essa regulamentação é necessária, seja através de mecanismos externos - regulamentos da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) e/ou da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) - ou internos (regulamento interno da CER). Portanto, como em qualquer outro sistema de gestão de transação de valor, o SGCrE necessitará de uma base regulamentar que estabeleça os requisitos e diretrizes para a elaboração, apresentação e divulgação das demonstrações de transações de valor na comunidade, de forma confiável e transparente para todos os agentes da comunidade e também para as entidades reguladoras e fiscalizadores destas atividades.

A regulamentação de um SGCrE deve incluir a descrição das regras associadas à forma de registo e apresentação das informações, bem como uma descrição dos processos e fórmulas de cálculo relacionados com as funcionalidades do sistema. Esta descrição regulamentar deve ser completa, visando garantir que os princípios propostos pelo sistema não sejam violados, evitando claramente danos ou desvios contratuais que possam resultar em riscos de exposição a responsabilidades para os agentes da CER.

De uma forma mais detalhada, um regulamento para um sistema de gestão de créditos de energia deve conter o seguinte:

- **Diretrizes gerais** – inclui os princípios fundamentais que servem como base lógica para o sistema. Inclui também definições e regras gerais que devem servir de base aos princípios orientadores para a tomada de decisões e ações relativos aos princípios funcionais do sistema;
- **Princípios funcionais** – define os princípios contáveis de transação de valor associado aos créditos, tais como geração, eliminação, consumo, entre outros;
- **Descrição de registo de informação** – descreve com detalhe toda a informação presente nos registos, desde a determinação de campos obrigatórios, a sua formatação e as unidades, até à resolução e precisão da informação a registar;
- **Interação com os sistemas de medição e repartição** – as informações relacionadas com a medição e a repartição são da responsabilidade do ORD, sendo este fluxo de informação a base do fluxo de energia para a gestão dos créditos. Assim sendo, devem ser descritos os mecanismos de repartição suportados pelo sistema e definidas as regras de gestão e interação destes sistemas. Regras de previsão ou dedução de informação a partir dos dados recebidos também poderão existir;

- **Interação com o sistema de contabilidade e faturação** – Os sistemas de gestão de contabilidade e de faturação tem regras próprias bem definidas, a interação do SGCrE com esses sistemas implica a definição de regras de interação de troca de informação;
- **Regras de documentação da base de dados** - os registos devem estar organizados em bases de dados documentadas e de forma adequada a garantir o cumprimento das diretrizes e propósitos, incluindo a manutenção das bases de dados, os mais variados registos (transações, faturas, recibos, séries de consumo, séries de produção e séries repartição), relatórios e outros documentos relevantes do sistema;
- **Relatórios** - as CER deverão ter instrumentos para preparar demonstrações de exercício periódicas, como balanços, demonstrações de resultados e fluxos de transações, conforme exigido pela regulamentação geral ou pela regulamentação interna da CER. O sistema deve ser capaz de produzir estes relatórios, que devem seguir um formato específico e fornecer informações relevantes e precisas sobre a situação e o desempenho da CER;
- **Normas fiscais** – a valorização dos créditos e a sua transação também poderá estar sujeita a regulamentos fiscais que determinam como os impostos são calculados e reportados. Essas normas podem incluir requisitos específicos para a elaboração das declarações fiscais e o tratamento contável de transações fiscais;
- **Requisitos de auditoria e conformidade** – poderá ser exigido às EGAC, por agentes internos ou por reguladores externos, que sejam submetidas a auditorias independentes para verificar a conformidade com os regulamentos. Essas auditorias devem seguir os procedimentos e diretrizes específicos fixados nos regulamentos.

Reforçando a ideia referida no início deste ponto, não existe um processo de regulamentação fixada por legislação, pelo que, numa fase inicial, será necessário um processo de autorregulamentação. No âmbito desta dissertação não será possível tratar em detalhe o vasto conjunto de aspetos regulamentares associados ao SGCrE, no entanto, neste capítulo, Desenho do Sistema de Gestão de Créditos de Energia, já foram lançados muitos dos princípios e fundamentos das funcionalidades para um sistema confiável.

Concluindo este ponto, existem várias alternativas possíveis para regulamentação do SGCrE. Não obstante, apresenta-se, em baixo, uma possibilidade de regulamentação do sistema, por ordem crescente de evolução de autorregulamentação para regulação externa:

1. **Regulamento de funcionalidade da plataforma de *software* de SGCrE:** um regulamento do sistema que inclui os princípios contáveis, regras de registo e documentação, regras de *reporting*, definição de indicadores, normas fiscais, regras de registo de medições e verificações, processos de auditoria e conformidade, entre outros;
2. **Regulamento interno da CER:** um regulamento que obriga à existência de um outro regulamento, específico do SGCrE, que está associado ao *software* do sistema e ao correspondente serviço;

3. **Regulamentos da ERSE e da DGEG:** estes regulamentos poderão obrigar à existência de um regulamento de funcionalidade da plataforma de *software* de SGCrE, integrado com o regulamento interno da CER. O SGCrE poderá estar sujeito a uma certificação por parte da DGEG ou ERSE, ou ainda, estar sujeitos a requisitos de auditoria, realizada por entidades externas.

Capítulo 4

Caso de Estudo

Neste capítulo, é apresentado e analisado um caso de estudo no qual o novo sistema apresentado no capítulo anterior, Desenho do Sistema de Gestão de Créditos de Energia, foi aplicado, com o objetivo de obter uma *Proof of Concept* do Sistema de Gestão de Créditos de Energia (SGCrE).

Os dados presentes no caso de estudo escolhido são baseados em medidas reais de uma Comunidade de Energia Renovável, cuja localização requer anonimato. Para além disso, apesar de os fluxos de energia (consumida e produzida) serem reais, os cenários de transação de valor associadas aos créditos de energia são fictícios, com uma diversidade de situações que permite testar várias situações de modelo de negócio e operação que possam existir. Assim, as regras de funcionamento respeitantes ao autoconsumo e os critérios de repartição aplicados neste caso de estudo foram definidos em conjunto com o regente da unidade curricular "Energia Eólica e Solar" do ano letivo 2022/2023, dada a sua vasta experiência na área das energias renováveis.

4.1 Caracterização do Caso de Estudo

O caso de estudo é constituído por quatro edifícios e cada um apresenta uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) e um consumidor. No entanto, dependendo do edifício, a entidade que detém cada uma das partes varia, como se pode verificar na figura 4.1:

- Edifício 1 (E1): é caracterizado por ser detido por um consumidor auto-produtor (CP1), isto é, é proprietário da UPAC integrada na sua instalação de consumo;
- Edifício 2 (E2): consumidor auto-produtor (C2), cuja UPAC está integrada na sua instalação de consumo. No entanto, a UPAC e a energia produzida nessa UPAC pertencem a um investidor (I2);
- Edifício 3 (E3): consumidor auto-produtor (C3), cuja UPAC está integrada na sua instalação de consumo. No entanto, a UPAC e a energia produzida nessa UPAC pertencem à EGAC;
- Edifício 4 (E4): consumidor auto-produtor (C4), cuja UPAC está integrada na sua instalação de consumo. No entanto, a UPAC e a energia produzida nessa UPAC pertencem à EGAC.

4.2.1 Tratamento Inicial dos Dados

Os indicadores apresentados anteriormente serviram de base e foram utilizados na preparação dos dados necessários para a aplicação do sistema de gestão, tendo para tal sido usado o *software Excel* como ferramenta de cálculo nesta secção.

Primeiramente, procedeu-se ao tratamento dos dados obtidos, aplicando um conjunto de fórmulas que será descrito de seguida, visando descobrir quais os valores energéticos associados ao autoconsumo, ao consumo líquido virtual e à injeção na rede da CER. Todas as fórmulas foram aplicadas para todas as linhas do conjunto de dados (correspondente a um ano de produções e consumos).

De seguida, efetuaram-se os cálculos relativos à repartição virtual da energia que é injetada na rede da CER. No que diz respeito ao tratamento dos dados, por último, atualizaram-se os consumos líquidos após repartição virtual e determinaram-se os excedentes da CER, que são injetados na RESP.

4.2.1.1 Autoconsumo, Consumo Líquido Virtual e Injeção

Primeiramente, calculou-se a energia produzida e consumida, em cada intervalo de tempo, em cada edifício $E \in \{E1, E2, E3, E4\}$, $E_{p,E}$ e $E_{c,E}$, respetivamente.

Numa primeira fase, cada UPAC instalada nos edifícios alimenta obrigatoriamente o respetivo edifício em primeiro lugar. Sabendo desta informação, determinou-se a energia elétrica autoconsumida, E_{ac} , tal que (4.1):

$$E_{ac,E} = \begin{cases} E_{p,E} & \text{se } E_{p,E} \leq E_{c,E} \\ E_{c,E} & \text{se } E_{p,E} > E_{c,E} \end{cases} \quad (4.1)$$

Ou seja, para um dado intervalo quarto-horário, em todos os edifícios (apesar de serem entidades diferentes no caso dos edifícios E2, E3 e E4), apenas se a produção for superior ao consumo é que esse excedente de energia produzida (após o autoconsumo) será injetado na rede da CER e partilhada com os restantes consumidores (de outros edifícios) - regra do autoconsumo obrigatório. Com esta informação, foi possível determinar o consumo líquido antes da repartição, $E_{cLAR,E}$, em cada edifício, tal que (4.2):

$$E_{cLAR,E} = E_{c,E} - E_{ac,E} \quad (4.2)$$

Reforçando a ideia de que a energia injetada corresponde à energia que foi produzida e não foi consumida, determinou-se a energia elétrica injetada na rede da CER, $E_{in,E}$, em cada edifício, tal que (4.3):

$$E_{in,E} = E_{p,E} - E_{ac,E} \quad (4.3)$$

4.2.1.2 Repartição Virtual de Energia

Recuperando o que foi referido no ponto 2.1.5, Repartição de Energia, a repartição de energia numa CER define de que forma é que a energia renovável é partilhada entre os membros da comunidade.

Neste ponto, a repartição é referida como sendo repartição virtual uma vez que, na realidade, não se controla o fluxo de energia, mas é possível associar quantidades de energia a uma dada entidade que terá discriminado que parte da energia é proveniente desta repartição. Esta associação é determinada pelo ORD.

Existindo várias possibilidades, optou-se por aplicar coeficientes variáveis, mais precisamente aplicar o conceito de "Repartição de Energia baseada em consumos", isto é, cada edifício terá a si alocada uma quantidade de energia, $E_{RV,E}$, que resulta da proporção do consumo líquido de cada edifício $E_{clAR,E}$ face ao consumo líquido total $\sum_E E_{clAR,E}$, tal que (4.4):

$$E_{RV,E} = \begin{cases} \frac{E_{clAR,E}}{\sum_E E_{clAR,E}} \times \sum_E E_{in,E} & \text{se } \sum_E E_{clAR,E} > \sum_E E_{in,E} \\ E_{clAR,E} & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.4)$$

Com vista ao melhor entendimento do processo de repartição, elaborou-se um fluxograma representativo, presente na Figura 4.2.

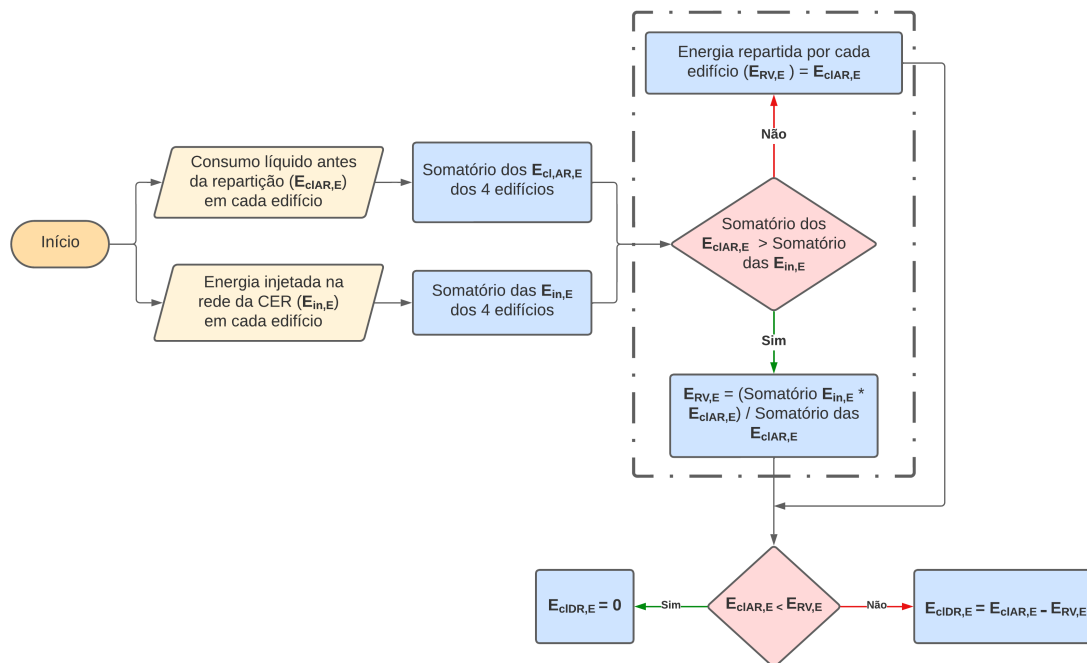


Figura 4.2: Fluxograma da repartição de energia baseada em consumos.

4.2.1.3 Novo Consumo Líquido Virtual, Excedente e Fluxos entre Edifícios

Uma vez realizada a repartição virtual da energia, obteve-se o novo consumo líquido depois da repartição, $E_{clDR,E}$, em cada edifício, tal que (4.5):

$$E_{clDR,E} = \begin{cases} E_{clAR,E} - E_{RV,E} & \text{se } E_{clAR,E} > E_{RV,E} \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.5)$$

Através dos cálculos efetuados, é possível saber todas as ações e interações que ocorrem dentro da comunidade. Assim, a energia que continuar por consumir é considerado excedente da CER, $E_{excTOTAL}$, e calcula-se subtraindo a energia injetada total (somatório de da energia injetada por cada edifício, $\sum_E E_{in,E}$) pela energia virtualmente repartida total (somatório de da energia virtual repartida por cada edifício, $\sum_E E_{RV,E}$), tal que (4.6):

$$E_{excTOTAL} = \sum_E E_{in,E} - \sum_E E_{RV,E} \quad (4.6)$$

Uma vez determinados os valores de repartição entre os membros da comunidade e o valor excedente total, resta identificar, por edifício, a energia elétrica excedente, $E_{exc,E}$, recorrendo ao produto da energia excedente total pela proporcionalidade de energia injetada que injetou face ao total, tal que (4.7):

$$E_{exc,E} = \begin{cases} 0 & \text{se } \sum_E E_{in,E} = 0 \\ E_{excTOTAL} \times \frac{E_{in,E}}{\sum_E E_{in,E}} & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.7)$$

Por último, e visando a utilização desta análise na implementação do SGCrE, determinou-se o fluxo de energia renovável que circulou entre dois edifícios diferentes (uma vez que a circulação de energia renovável no mesmo edifício é considerado autoconsumo).

Considere-se

$$i, j = \{E1, E2, E3, E4\} \quad \wedge \quad i \neq j \quad ,$$

o fluxo de energia entre dois edifícios, $E_{fluxo_{i \rightarrow j}}$, define-se tal que (4.8):

$$E_{fluxo_{i \rightarrow j}} = \begin{cases} E_{in,i} \times \frac{E_{RV,j}}{\sum_E E_{RV,E}} & \text{se } \sum_E E_{RV,E} > 0 \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.8)$$

4.3 Análise de Dados

Após tratamento inicial dos dados, realizou-se a respetiva caracterização do balanço energético da comunidade. Ou seja, neste ponto será realizada uma análise aos perfis de produção e consumo dos quatro edifícios que constituem esta comunidade do presente caso de estudo. Para além disso, serão analisados alguns dos resultados obtidos no tratamento efetuado no ponto anterior, nomeadamente a energia injetada e os consumos líquidos.

4.3.1 Produção e Consumo

Tabela 4.2: Valores anuais de energia produzida e consumida de cada edifício.

Energia (MWh)	E1	E2	E3	E4	Total
Produção	13,879	39,568	26,166	27,054	106,667
Consumo	75,747	38,989	57,993	59,401	232,129

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.2, o conjunto das quatro UPACs instaladas nos edifícios apresenta uma produção anual de 106,667 MWh. O edifício E2 é responsável pela maior fatia de energia produzida. Por outro lado, o edifício E1 produz a menor quantidade de energia.

Denotar que estes valores apresentados do consumo são correspondentes aos valores brutos medidos, não existindo ainda qualquer cálculo relativamente à energia autoconsumida.

4.3.1.1 Produção

A Figura 4.3 apresenta os perfis horários de produção, isto é, os valores médios de produção ao longo de um dia, para cada edifício.

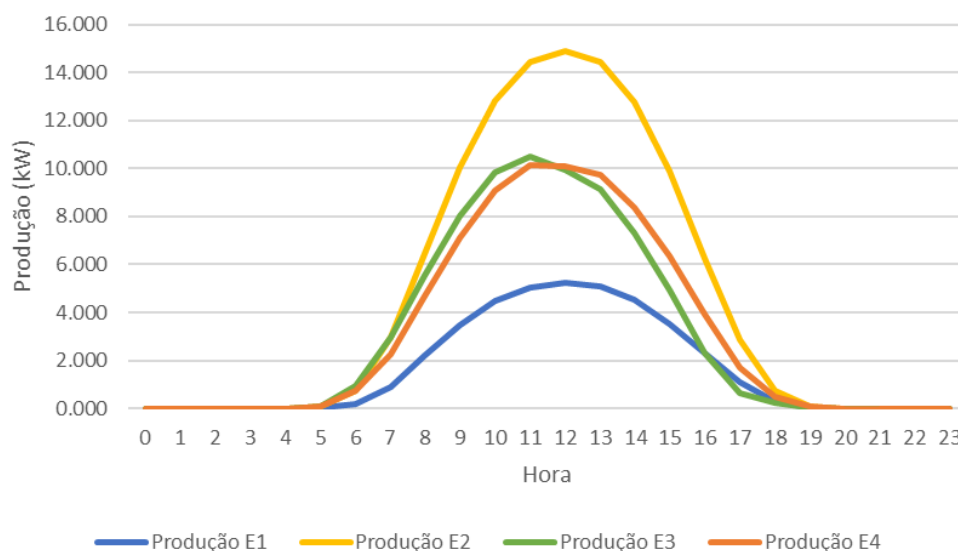


Figura 4.3: Perfil de produção média horária de cada edifício.

Observando a Figura 4.3, conclui-se que existe produção de energia entre as 6h00 e as 18h30, existindo um pico de produção entre as 10h00 e as 15h00, aproximadamente. Uma vez que produção é exclusivamente fotovoltaica, os resultados apresentados estão dentro do que seria expectável.

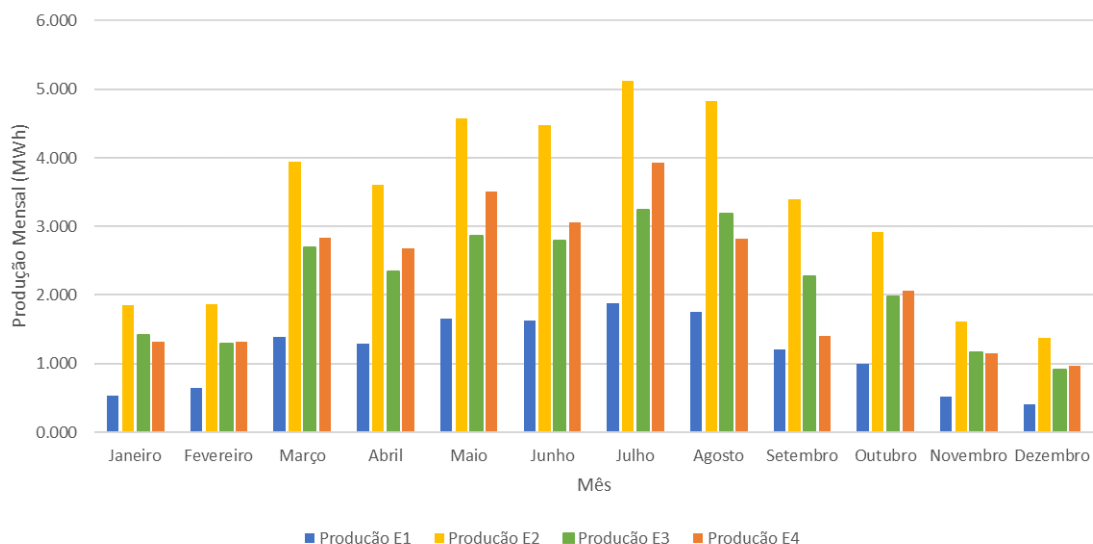


Figura 4.4: Produção de energia mensal total de cada edifício.

De seguida, consultando a Figura 4.4, é possível concluir que a produção é mais elevada nos meses de verão, particularmente entre maio e agosto, o que é expectável face à maior exposição à irradiância solar característica nestes meses favorável à geração de energia renovável de origem fotovoltaica. Em contraste e mantendo as expectativas, nos meses de inverno, principalmente entre novembro e fevereiro, a produção é menor.

4.3.1.2 Consumo

Recorrendo novamente aos valores apresentados na Tabela 4.2, o conjunto das quatro UPACs instaladas nos edifícios apresenta um consumo anual de 232,129 MWh. O consumidor do edifício E1 é responsável pela maior quantidade de energia consumida. Por outro lado, o consumidor do edifício E2 consome a menor quantidade de energia.

A Figura 4.5 apresenta o perfil horário do consumo, isto é, os valores médios de consumo ao longo de um dia, para cada edifício.

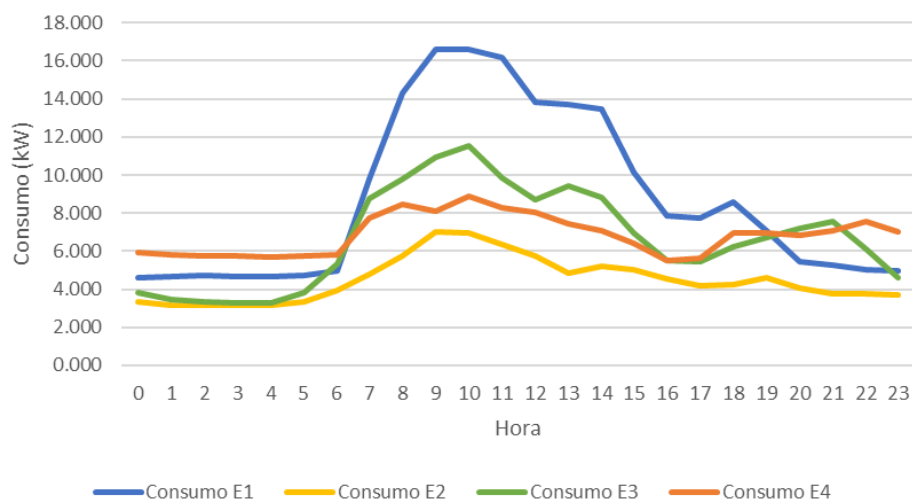


Figura 4.5: Perfil de consumo médio horário de cada edifício.

Observando a Figura 4.5, é possível ver os perfis de consumo de cada um dos edifícios. Existe uma tendência geral entre todos os consumidores: o seu consumo é maior entre as 6h30 e as 19h00 e apresentam os consumos mais baixos entre as 00h00 e as 6h30. No entanto, o consumidor do edifício E1 apresenta consumos maiores quando comparado com os restantes consumidores.

Comparando com a Figura 4.3, a tendência de ambos os gráficos é similar. Destaca-se que o edifício E1 apresenta produções baixas e consumos elevados, quando comparado com os outros edifícios. Desta forma, espera-se que a energia injetada por este edifício seja baixa, já que este deverá ter de autoconsumir uma grande percentagem da energia que produz.

Verifica-se ainda, em sentido contrário, que o edifício E2 produz mais do que consome. Cumprindo a regra do autoconsumo obrigatório (referida no ponto 4.2.1.1), será de esperar que o edifício E2 consiga injetar mais energia na CER que os restantes. No entanto, essa análise será efetuada mais a frente detalhadamente.

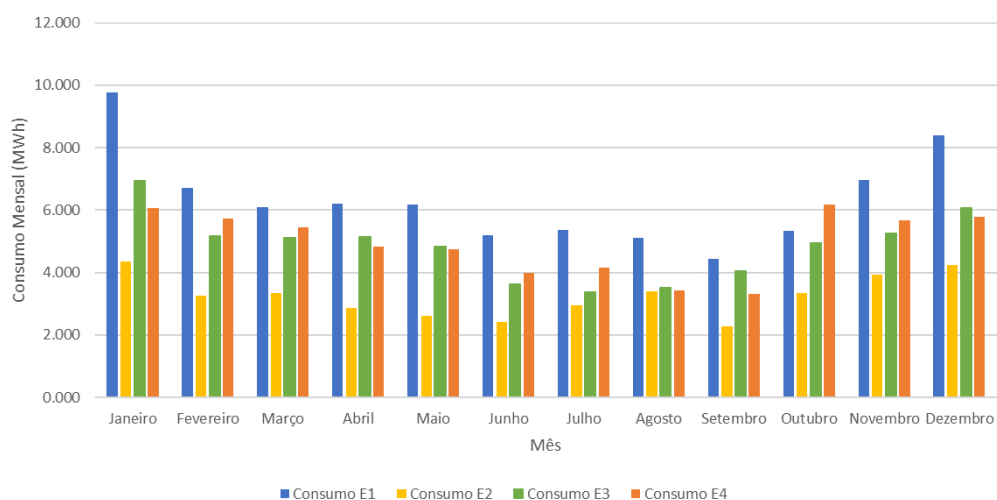


Figura 4.6: Consumo mensal total de energia de cada edifício.

De seguida, consultando a Figura 4.6 e comparando a mesma com a Figura 4.4, conclui-se que o consumo apresenta um padrão oposto à produção. Assim, o consumo é mais elevado nos meses de inverno, particularmente entre novembro e fevereiro, e menor nos meses de verão, entre junho e setembro.

4.3.2 Energia Autoconsumida e Energia Injetada

De acordo com os valores apresentados de seguida na Tabela 4.3, a energia autoconsumida total anual foi de 65,347 MWh e a energia injetada total anual foi de 41,320 MWh. Enquanto se verificou um equilíbrio entre os vários consumidores no que diz respeito à energia autoconsumida, o edifício E2 é responsável por cerca de 56% da energia injetada total anual da comunidade. Destaca-se também o já anunciado anteriormente quase nulo contributo do edifício E1 para a energia injetada da comunidade.

Tabela 4.3: Valores anuais de energia autoconsumida e injetada de cada edifício.

Energia (MWh)	E1	E2	E3	E4	Total
Autoconsumida	13,580	16,528	18,263	16,976	65,347
Injetada	0,298	23,040	7,903	10,078	41,320

Recordando as expressões utilizadas no ponto 4.2.1.1, a energia autoconsumida depende do conjunto consumo-produção e a energia injetada define-se como a energia excedente de um edifício, depois do autoconsumo. Ou seja, a energia produzida será igual à soma da energia injetada com a energia autoconsumida. A Figura 4.7 apresenta assim uma análise mensal desta relação, juntamente com o consumo total.

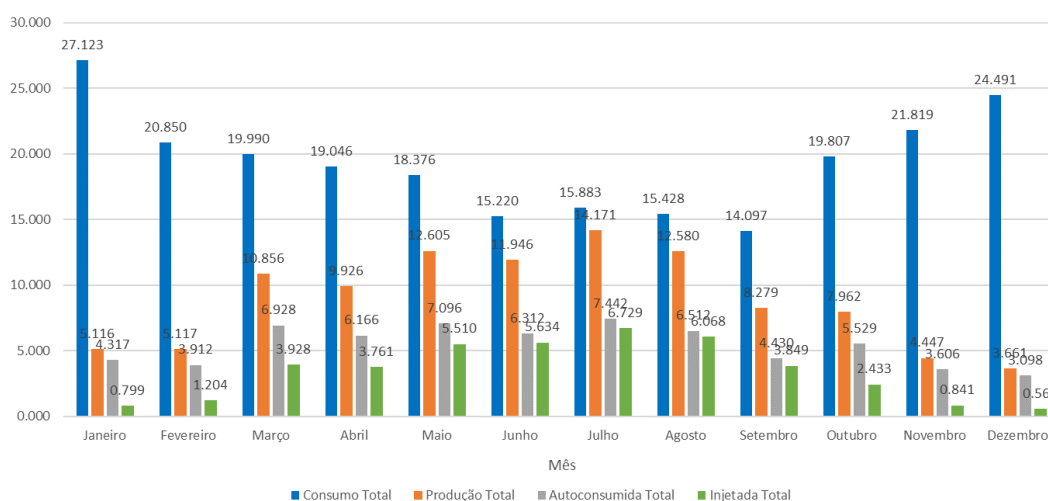


Figura 4.7: Análise mensal da relação matemática entre a energia produzida, a autoconsumida e a injetada total dos edifícios. Comparação destes com o consumo. Valores apresentados em MWh.

Observando a Figura 4.7, é possível verificar as relações matemáticas 4.1, 4.2 e 4.3. Para além disso, considerando este gráfico de sumário mensal e verificando as relações de consumo

com as restantes variáveis, face à paridade de valores apresentada entre consumo e produção no período compreendido entre maio e agosto, prevê-se que a energia excedente da comunidade (isto é, energia que é injetada na RESP) atinja, neste meses, valores mais altos comparativamente com os restantes meses. Esta previsão deve-se ao grande equilíbrio que o consumo e o período apresentam no resumo mensal, o que levará a uma maior probabilidade de existência de intervalos quarto-horários em que o consumo seja inferior à produção (uma vez que o normal é o ocorrer o contrário, já que, num panorama diário, os picos de produção correspondem a cerca de 5h00 diárias, cerca de 21% de um dia). É importante referir ainda que a existência de potência injetada na rede, mesmo sabendo que o consumo é superior à produção, se deve ao facto de ser um resumo mensal, refletindo o somatório de todos os períodos quarto-horários de cada mês.

Aplicando ainda o mesmo conceito de análise utilizado para a produção e para o consumo, obteve-se os gráficos das Figuras 4.8 e 4.9.

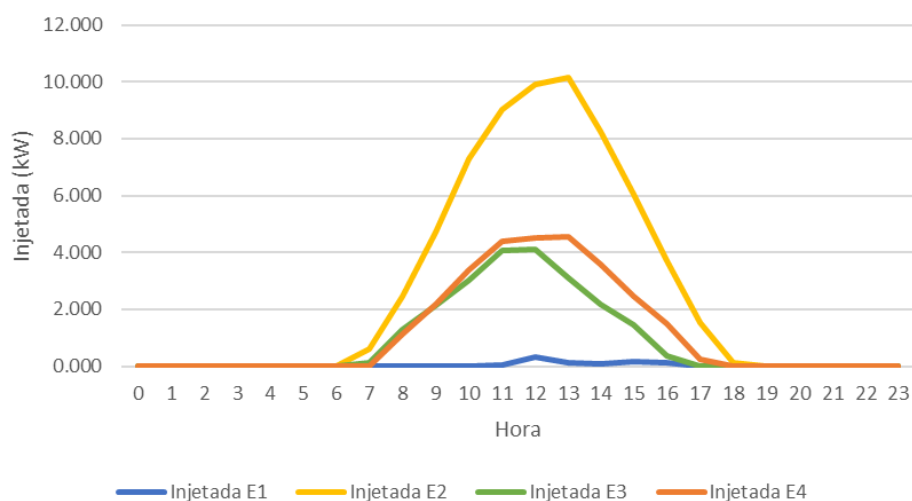


Figura 4.8: Perfil horário médio de potência injetada de cada edifício.

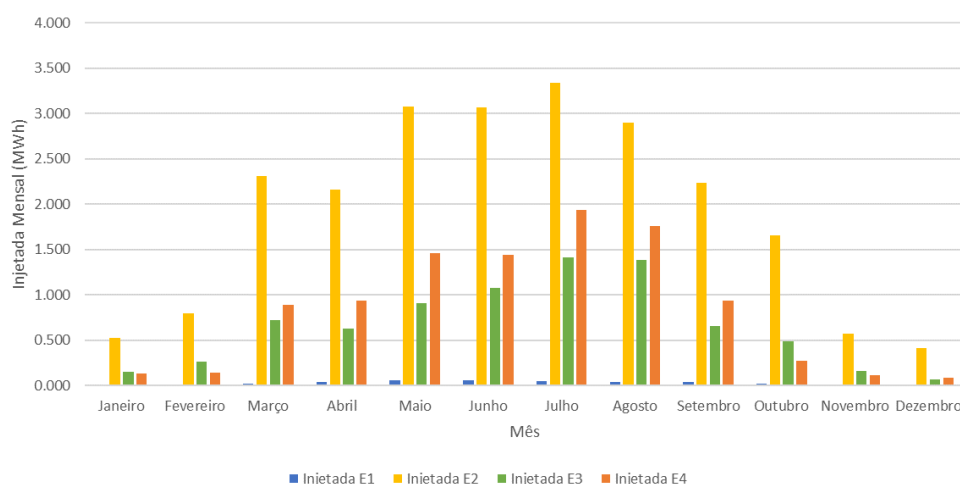


Figura 4.9: Energia Injetada mensal total de cada edifício.

Com a observação das Figuras 4.8 e 4.9 é possível reforçar as certezas nos cenários previstos anteriormente. Assim, foi possível confirmar que o edifício E1 injeta quantidades muito inferiores de energia quando comparado com os restantes edifícios e que, por outro lado, o edifício E2 destaca-se pela grande quantidade de energia injetada, durante todo o ano e com a potência apresentar uma maior janela horária diária média.

Recorrendo às figuras 4.7 e 4.9, observa-se uma grande necessidade de consumo por parte do edifício E1. Prevê-se que esta necessidade, aliada à grande quantidade de energia disponível na comunidade (energia injetada), se fará sentir na repartição virtual.

4.3.3 Repartição Virtual

Visando verificar se esta previsão está correta, é preciso identificar quais os fluxos de energia associados ao consumo líquido antes da repartição virtual (Consumo L_AR), à repartição virtual e aos consumos líquidos depois da repartição virtual (Consumo L_DR). Como seria de esperar, o consumo inicial será igual ao somatório da energia autoconsumida com a energia consumida líquida antes da repartição. Na Tabela 4.4 estão apresentados os valores acima mencionados.

Tabela 4.4: Valores anuais relacionados com a repartição virtual de cada edifício.

Energia (MWh)	E1	E2	E3	E4	Total
Consumo L_AR	62,166	22,461	39,730	42,425	166,782
Repartição Virtual	12,259	0,018	1,798	1,053	15,128
Consumo L_DR	49,907	22,443	37,932	41,372	151,654

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.4, a energia repartida virtual total anual foi de 15,128 MWh. De acordo com o previsto anteriormente, o edifício E1 é responsável por consumir cerca de 81% da energia repartida virtualmente total anual da comunidade. Os edifícios E3 e E4 apresentam direitos de repartição parecidos e o edifício E2 praticamente não consome via repartição, o que seria de esperar, visto que este é a maior fonte de energia injetada.

Ainda assim, efetuou-se uma análise do perfil horário dos consumos líquidos, antes e depois da repartição virtual, apresentados nas Figuras 4.10 e 4.11, respetivamente.

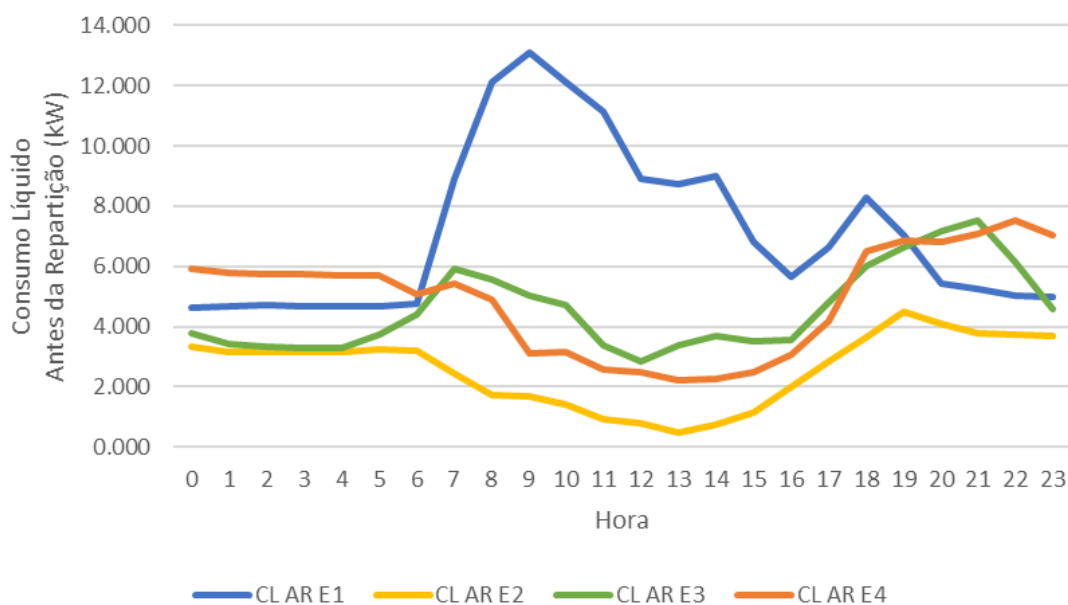


Figura 4.10: Perfil horário médio do consumo líquido antes da repartição virtual.

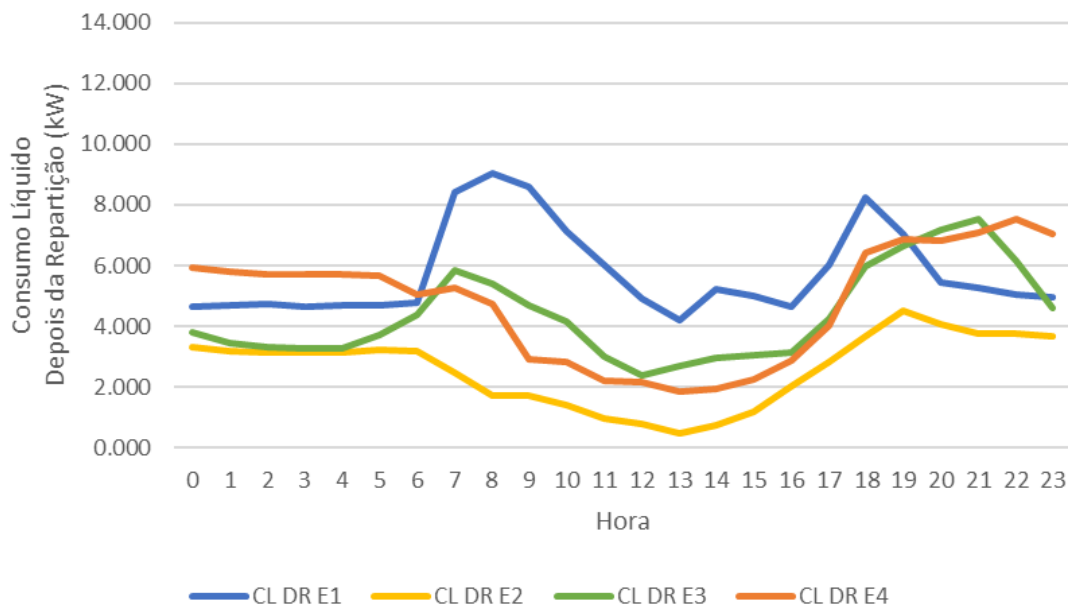


Figura 4.11: Perfil horário médio do consumo líquido depois da repartição virtual.

Analisando os gráficos das Figuras 4.10 e 4.11, torna-se claro que existe uma janela horária de maior variação no edifício E1, pelo que, talvez exista interesse em isolar as suas curvas de consumo e fazer uma análise mais detalhada, apresentada na Figura 4.12.

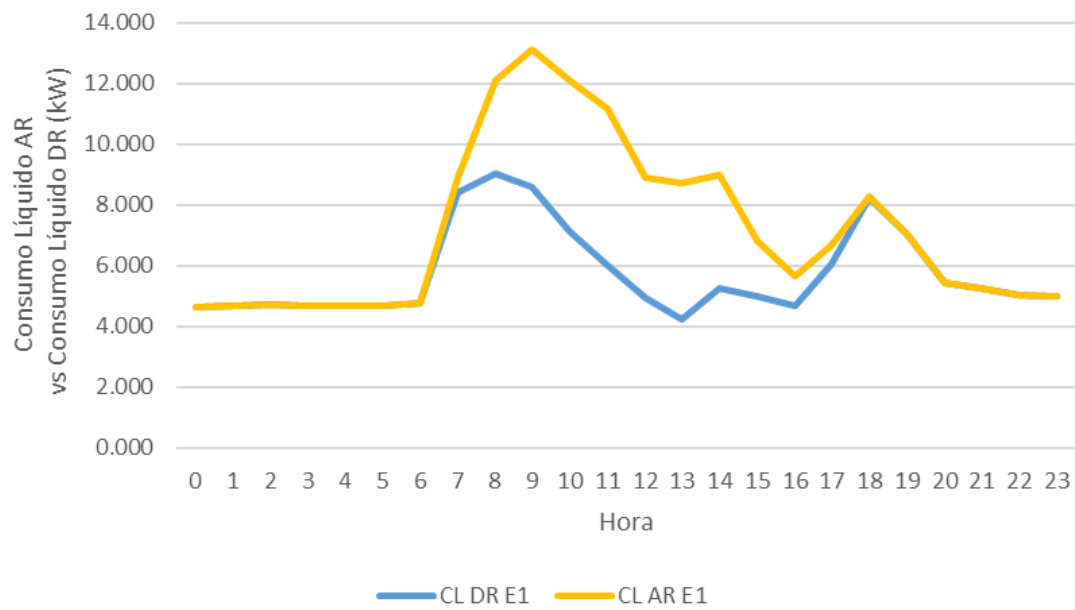


Figura 4.12: Perfis horários médios dos consumos líquidos do edifício E1

Observando a Figura 4.12, e recordando os perfis horários do consumo e produção, Figuras 4.3 e 4.5, torna-se evidente que a sua necessidade de consumo energético é muito elevada entre as 7h00 e as 17h00, explicando assim a sua grande cota energética numa repartição com coeficientes baseados em consumos.

Elaboraram-se também gráficos totais mensais para ambos os consumos líquidos, apresentados nas Figuras 4.13 e 4.14, respetivamente.

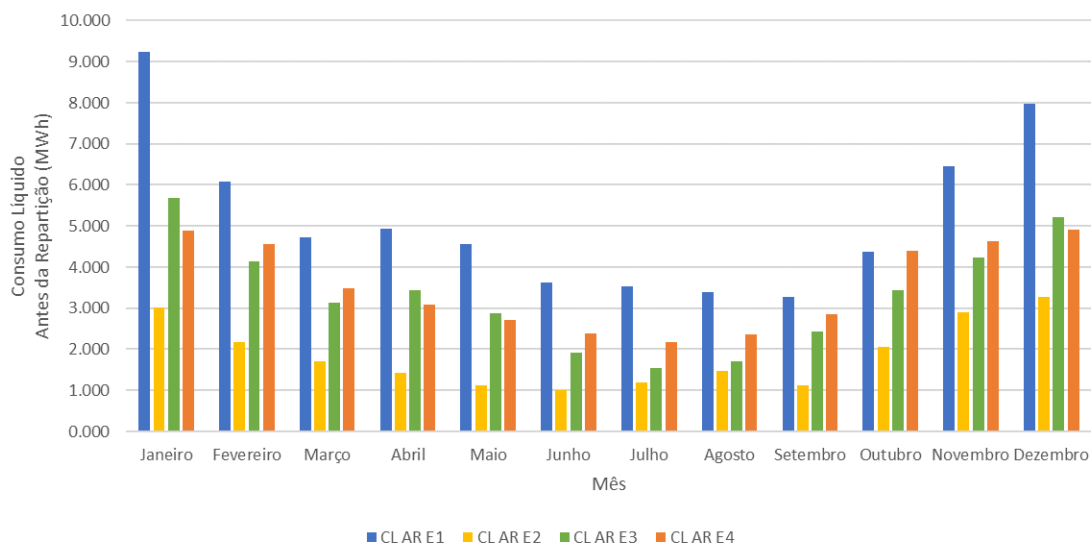


Figura 4.13: Total mensal do consumo líquido antes da repartição virtual.

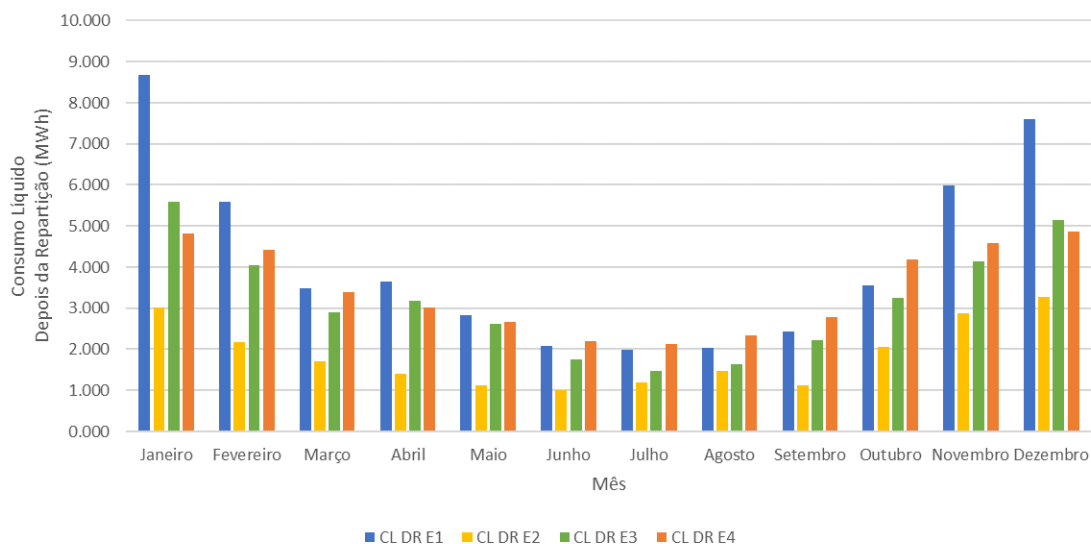


Figura 4.14: Total mensal do consumo líquido depois da repartição virtual.

Como já seria de esperar pela análise feita anteriormente para os perfis horários, as Figuras 4.13 e 4.14 apresenta mais variações causadas pela repartição virtual no edifício E1, pelo que, se isolou novamente as curvas deste edifício, na Figura 4.15, por forma a perceber quais os meses aonde existe maior expressão da repartição virtual no seu consumo líquido.

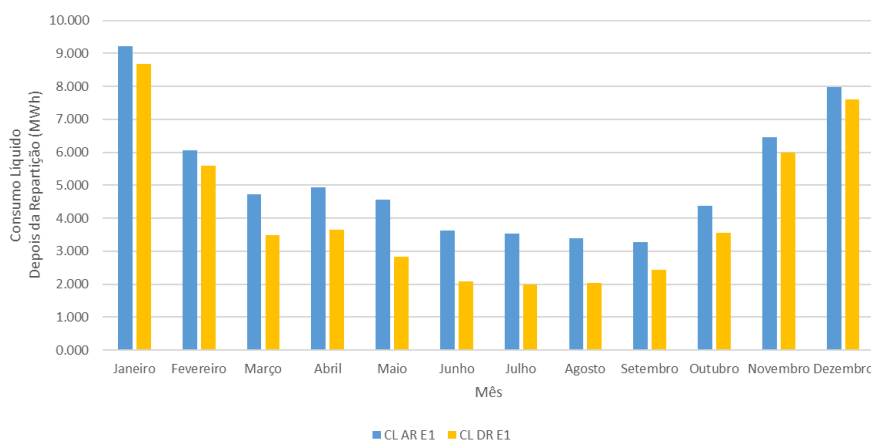


Figura 4.15: Total mensal dos consumos líquidos do consumidor do edifício E1.

De acordo com a Figura 4.15, existe uma maior discrepância entre valores pré e pós repartição virtual nos meses de verão, com destaque para o período entre maio e agosto, onde a percentagem de energia proveniente da repartição virtual varia entre os 38% e os 44%.

Para vias de comparação direta, e para observar se as relações matemáticas se verificam, a Figura 4.16 apresenta um gráfico que apresenta um resumo dos valores de energia consumida ao longo do processo de cálculo apresentado.

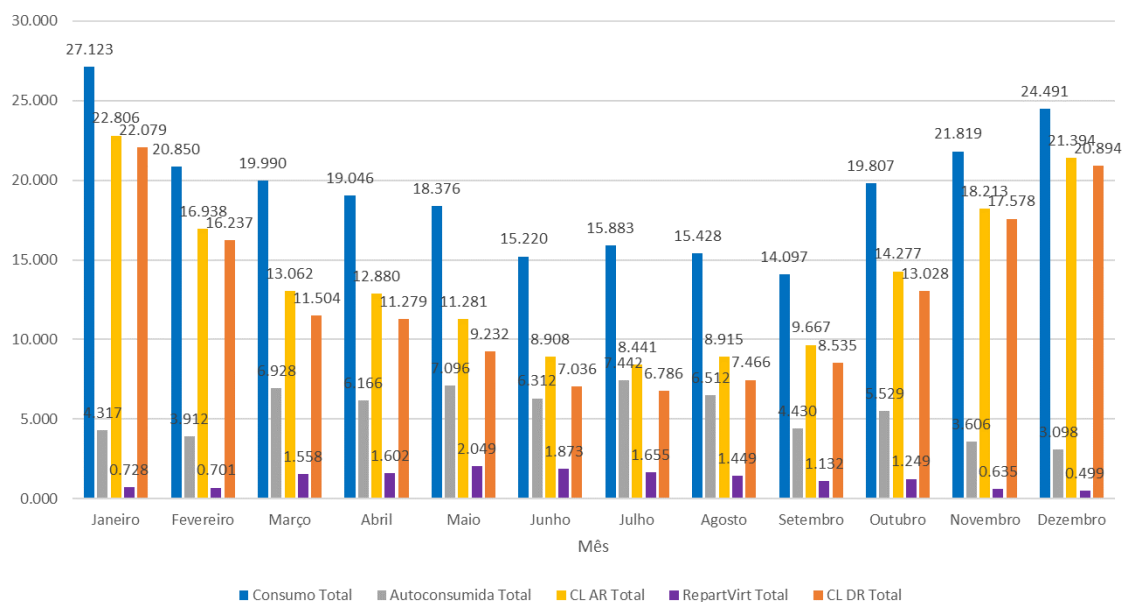


Figura 4.16: Comparação dos fluxos energéticos totais mensais dos consumos: bruto, líquido antes da repartição e depois da repartição. Valores em MWh.

Analisando o gráfico da Figura 4.16, é possível perceber que as relações matemáticas se verificam corretamente e que, uma vez que a repartição é baseada em consumos, confirmam-se duas tendências já evidenciadas anteriormente: os consumos diminuem nos meses de verão e, como

coincide com o período em que a produção é maior, os valores da energia autoconsumida e da energia repartida virtual são também maiores. Por isso, verifica-se uma maior diferença entre consumo bruto e líquido nos meses de verão, apesar de estes serem menores em termos absolutos do que nos meses de inverno.

4.3.4 Excedente

Depois de analisar os fluxos associados à repartição virtual entre os membros da comunidade, segue-se a análise da energia excedente. Na tabela 4.5 estão apresentados os valores da energia excedente por edifício.

Tabela 4.5: Valores anuais de energia excedente de cada edifício.

Energia (MWh)	E1	E2	E3	E4	Total
Excedente	0,288	13,668	5,334	6,902	26,192

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.5, o conjunto das quatro UPACs instaladas nos edifícios apresenta um excedente anual de 26,192 MWh. O edifício E2 é o principal contribuinte para este valor anual, com cerca de 52% da energia injetada na RESP. Por outro lado, o edifício E1 apresenta uma contribuição quase nula, o que seria de esperar face à análise realizada.

A Figura 4.17 apresenta o perfil horário da potência excedente, isto é, os valores médios do excedente da CER ao longo de um dia.

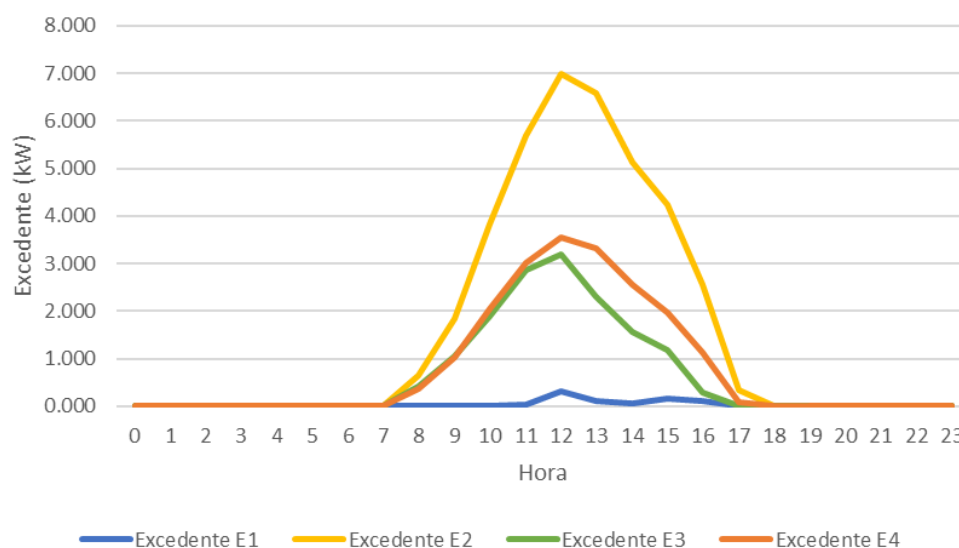


Figura 4.17: Perfil de potência excedente média horária de cada edifício.

Observando a Figura 4.17, esta aparenta apresentar um elevado grau de similaridade comparativamente ao gráfico da energia injetada, da Figura 4.8. Este fenómeno é expectável dada a estreita relação existente entre a injetada e o excedente. Apresenta-se em maior detalhe essa similaridade na Figura 4.18.

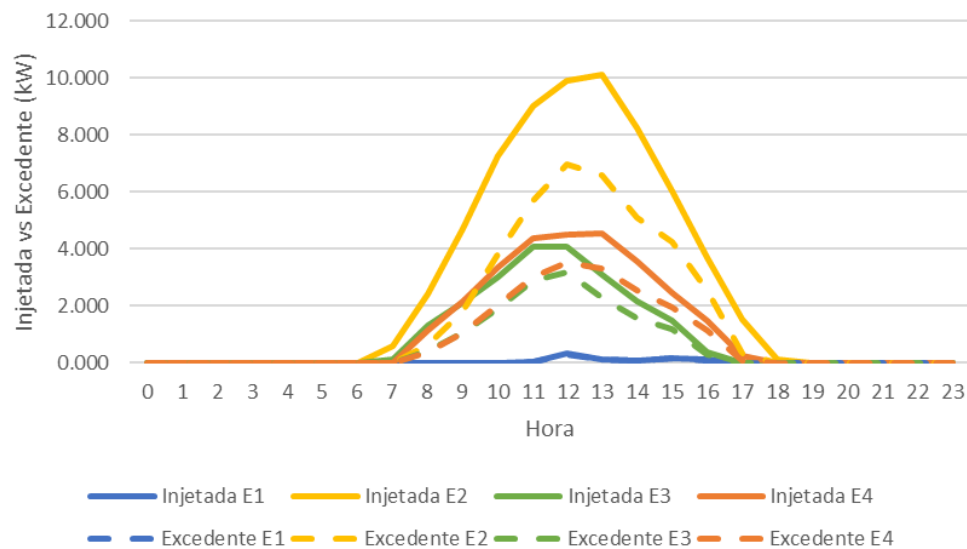


Figura 4.18: Comparação dos perfis horários das potências injetada e excedente média de cada edifício.

Como se pode observar na Figura 4.18, no caso do edifício E1, as linhas estão sobrepostas, refletindo os já analisados valores quase nulos de energia injetada e excedente. A variação das restantes curvas é também expectável, face aos resultados já demonstrados anteriormente - note-se a maior variação da curva do edifício E2, uma vez que este é responsável por grande parte da energia repartida virtual.

Elaborou-se ainda um gráfico representativo da energia excedente total mensal de cada edifício, presente na Figura 4.19

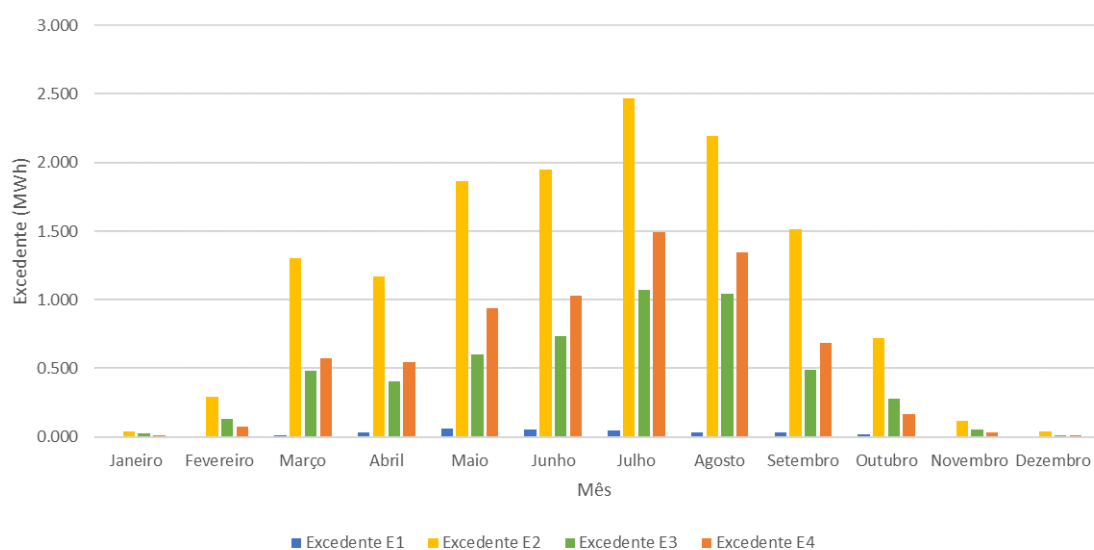


Figura 4.19: Energia excedente mensal total de cada edifício.

Consultando a Figura 4.19, observou-se que os resultados obtidos eram, mais uma vez, proporcionais aos obtidos anteriormente, na análise mensal da energia injetada (Figura 4.9). Verifica-se um pico de excedente nos meses que coincidem ser maior produção e menor consumo, isto é, entre maio e agosto.

4.3.5 Fluxo de Energia Repartida entre Edifícios

Por último, calcularam-se os fluxos de energia repartida anualmente entre edifícios, presentes na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Fluxos de energia anuais repartida entre edifícios da comunidade (em MWh).

		DESTINO				Total
		E1	E2	E3	E4	
ORIGEM	E1	-	0.000	0.006	0.004	0.010
	E2	7.078	-	1.444	0.850	9.372
	E3	2.361	0.009	-	0.199	2.569
	E4	2.820	0.009	0.348	-	3.177
Total		12.259	0.018	1.798	1.053	

Analisando os valores obtidos, existe uma clara tendência de destino: o edifício E1, que totaliza 12,259 MWh de energia consumido via repartição virtual. A razão deste valor já está bem justificada no decorrer deste ponto - prende-se essencialmente com o seu grande consumo e baixa produção, aliada ao método de repartição aplicado neste caso de estudo (quanto maior o consumo, maior a fatia da repartição). Devido à elevada relação produção/consumo, a UPAC do edifício E2 é a que contribui com a maior quantidade energia.

Tentando obter mais detalhe na análise da tendência de destino, elaborou-se um gráfico, presente na Figura 4.20, que representa a energia total mensal recebida pelo edifício E1.

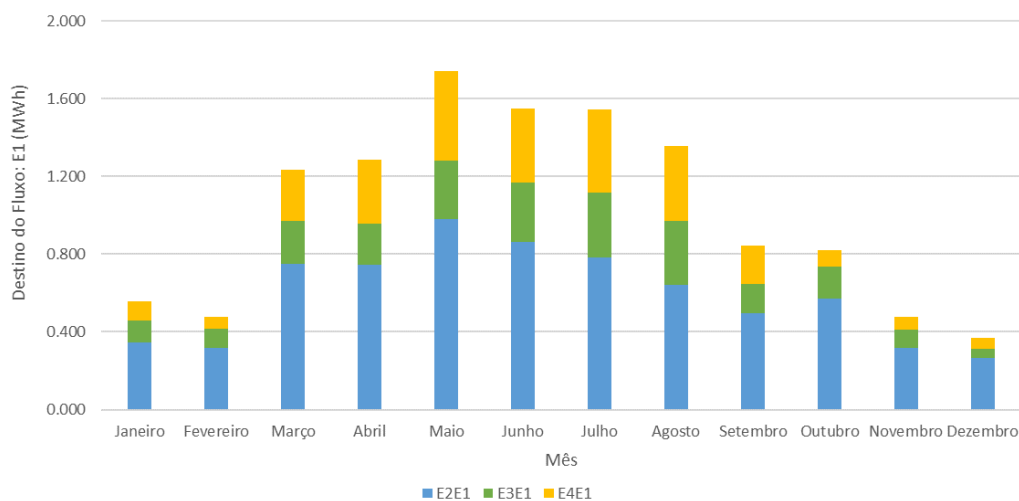


Figura 4.20: Energia total mensal recebida pelo C1 devido à repartição virtual, por edifício de origem.

Denota-se um maior fluxo de energia durante os meses mais quentes, entre maio e agosto, e um menor fluxo nos meses de inverno, apresentando os valores mais baixos entre novembro e fevereiro.

4.4 Aplicação do Sistema de Gestão de Créditos de Energia

Uma vez todos os dados tratados, segue-se a implementação do Sistema de Gestão de Créditos de Energia neste caso de estudo. Esta aplicação foi efetuada recorrendo à linguagem de programação *Python*, uma vez que este permite com maior facilidade tratar grandes quantidades de informação quando comparado com o *software Excel*.

4.4.1 Regras Fundamentais do Caso de Estudo

Aplicando os conceitos definidos no capítulo 3, Desenho do Sistema de Gestão de Créditos de Energia, é necessário responder a um conjunto de questões que serão úteis para definir quais as regras e valores que permitem efetuar uma simulação do SGCrE:

- Quantos membros pertencem a esta CER e quem tem acesso a uma carteira de créditos?

Todos os membros pertencentes à comunidade têm acesso a uma carteira. De acordo com a figura 4.1, existem 5 membros nesta comunidade. Assim, existirão seis carteiras implementadas no sistema:

- Carteira do consumidor auto-produtor CP1 (produção e consumo do edifício E1);
- Carteira do investidor I2 (produção no edifício E2)
- Carteiras dos consumidores C2, C3 e C4 (consumo nos edifícios E2, E3 e E4, respetivamente);
- Carteira da EGAC (produção nos edifícios E3 e E4).

Para além destas carteiras, existirá ainda uma Carteira Externa, virtual, com o intuito de controlar as relações externas da CER.

- Que modelos de mercado são implementados e quais são os valores de referência definidos pela EGAC para a compra e venda de créditos?

Tal como referido previamente, uma das principais vantagens deste sistema de gestão passa pela facilidade com que é possível implementar vários modelos de mercado em paralelo.

Nesta simulação, existem dois casos de Mercado Bilateral PPA:

- O consumidor C3 efetuou um acordo a longo prazo com a EGAC para a compra de 1MWh (1000 créditos) no início de cada mês;
- O consumidor C4 efetuou um acordo a longo prazo com o investidor I2 para a compra de 0,2MWh (200 créditos) no início de cada mês.

Ocorrem também dois casos de Mercado Local P2P, cada um com as suas particularidades:

- O investidor I2 comprometeu-se a transferir 0,1MWh (100 créditos) para a carteira do consumidor C3 no início do mês de agosto em troca de 0,07€/CrE;
- O consumidor auto-produtor CP1 efetuou um acordo com a EGAC para a venda de todo o seu excedente a 0,07€/CrE.

Existem ainda dois acordos relacionados com o aluguer dos telhados dos consumidores C2, C3 e C4 (troca de créditos por um produto/serviço):

- A EGAC comprometeu-se a pagar a renda da utilização dos telhados dos consumidores C3 e C4 utilizando créditos: transferência de 50 créditos no início de cada mês mais uma bonificação anual de 100 créditos no mês de junho;
- Também o investidor I2 se comprometeu a pagar a renda da utilização do telhado do consumidor C2 utilizando créditos, transferindo 100 créditos no início de cada mês.

Por uma questão de simplificação do caso de estudo, os valores de referência da EGAC para compra e venda serão iguais, sendo:

- 0,1€/kWh nos meses de inverno;
- 0,08€/kWh nos meses de verão.

É importante referir que o investidor I2 vende a sua energia a um preço fixo de 0,09€/CrE. Ou seja, durante na liquidação mensal, a EGAC paga esta quantia por crédito ao investidor I2, independentemente dos valores de referência em vigor.

Para além disso, qualquer motivo que exija uma venda forçada esta deverá ser efetuada ao preço de referência da EGAC.

- Quais as regras e qual a periodicidade em que deve ser efetuado um pagamento para liquidação de carteiras?

No final de cada mês, todos os membros deverão liquidar monetariamente por forma a reestabelecer um saldo nulo no início do mês seguinte. No caso de um consumidor apresentar saldo positivo, poderá transitar essa quantia de créditos para o mês seguinte. No entanto, um investidor não poderá transitar créditos para o mês seguinte, evitando a acumulação de saldos positivos continuamente crescentes.

- Face à implementação fundamental (apresentada no capítulo 3), existe alguma exceção às regras que seja aplicada na comunidade deste caso de estudo?

Devido ao perfil produtor que o investidor I2 apresenta, e por uma questão de simplificação da implementação do SGCrE neste caso de estudo, é permitido que a carteira deste membro efetue transferências de créditos no primeiro dia de cada mês mesmo apresentando saldo negativo. Esta exceção aplica-se para que seja possível demonstrar mais facilmente os diferentes tipos de mercado, sem prejudicar os resumos mensais de créditos. Foi assegurado

que não existem danos colaterais associados a esta exceção, isto é, não existe nenhum mês no caso de estudo em que esta exceção altere a análise dos resultados a demonstrar.

Por uma questão de fecho de contas, considerou-se que o último intervalo quarto-horário existente no conjunto de dados do caso de estudo correspondia a um fim do mês virtual, aplicando as mesmas regras a esse intervalo (2021-09-29 23:00:00) que foram aplicadas a qualquer outro último período mensal.

4.4.2 Simulação do SGCrE

Efetuada a descrição do caso de estudo e quais as regras e fundamentos que estão presentes, o passo seguinte é programar na linguagem de programação *Python* um *script* que permitisse simular o Sistema de Gestão de Créditos de Energia.

Em primeiro lugar, é preciso definir os requisitos deste programa, isto é, de que forma é que a implementação do SGCrE pode ser inicialmente testada e quais são os principais objetivos a cumprir.

Para verificar o funcionamento deste sistema no caso de estudo, é essencial dividir o script em quatro importantes etapas:

1. Obter um registo dinâmico que atualize automaticamente cada uma das carteiras de créditos de acordo com informação dos fluxos quarto-horária disponibilizada;
2. Sintetizar a informação quarto-horária num resumo mensal, por forma a verificar facilmente qual o saldo mensal das carteiras de créditos, no momento anterior à liquidação referida na secção anterior;
3. Em função das regras monetárias descritas em cima, calcular quais os valores monetários a pagamento ao final de cada mês;
4. Estruturar uma forma de elaborar um registo de todas as transações de créditos efetuadas no decorrer do ano.

De seguida, cada uma das etapas será descrita em maior detalhe, explicitando quais os métodos aplicados para chegar ao resultado.

4.4.2.1 Registo Dinâmico

Sendo esta a primeira etapa, é nela que assentam todas as bases do programa. Em primeiro lugar, inicializaram-se diferentes bibliotecas de *software*, nomeadamente, a biblioteca *pandas*, muito útil para manipulação e análise de dados. De seguida, importaram-se todos os dados relativos ao caso de estudo para uma *DataFrame* ("*df*"), que é o principal objeto da biblioteca *pandas* e se assemelha a uma matriz.

Os dados importados incluem todos os valores calculados em cima, adicionando ainda os totais de cada uma das variáveis (isto é, o somatório dos quatro edifícios para cada uma das variáveis:

consumo, produção, autoconsumida, injetada, repartida virtual, excedente e consumos líquidos antes e depois da repartição). Para além destes, é importante referir ainda que foram importadas mais duas colunas de dados, a hora legal ("HoraLegal"), que indica se estamos no período de verão ("Ver") ou de inverno ("Inv") e a data, com a particularidade desta segunda ter sido importada no formato "aaaa-mm-dd hh:mm:ss"propositadamente para garantir que a linguagem de programação reconhecesse e conseguisse interpretar corretamente.

Uma vez importada toda a informação necessária, criou-se uma nova *df*, *CC*, onde foi guardado o registo dinâmico. Esta *df* foi inicializada com as colunas Data e HoraLegal, garantindo que o registo dinâmico abrangeria todo o comprimento de dados utilizados. De seguida, acrescentou-se à *CC* várias colunas, correspondentes às carteiras existentes na CER: CP1, I2, C2, C3, C4, EGAC e EXTERNA.

Como se poderá observar à frente, existirá ainda uma segunda coluna respeitante à EGAC, EGAC2, que apenas é utilizada como controlo durante o processo de registo dinâmico. Ou seja, desde que EGAC seja igual a EGAC2, então existe uma maior garantia de que o valor da carteira da EGAC está correto. Optou-se por esta implementação de controlo uma vez que a carteira da EGAC é a mais complexa de todas e pretendia-se fiabilidade nos resultados.

Definindo as diferentes condições para cada uma das carteiras, foi possível iniciar a simulação de um registo dinâmico. Uma vez que o caso de estudo implica a utilização de dados decorrentes de um ano, por forma a aumentar a performance do programa, as carteiras atualizam da seguinte forma, segundo esta ordem:

1. para cada intervalo de quinze minutos (cada linha de informação obtida), calculam qual o valor de créditos associado àquele momento em cada carteira;
2. posteriormente aplicam uma função de soma cumulativa para obter a evolução da carteira;
3. por último, efetua verificações temporais, por forma a saber quando deverá efetuar a verificação de final do mês (altura em que é obrigatória a liquidação das carteiras).

Numa situação real, o ORD fornece os dados com periodicidade diária, pelo que, à medida que a informação fosse fornecida, esta seria tratada e inserida no SGCrE, e consequentemente as carteiras atualizariam. Porém, como se trata de um caso de estudo com dados referentes a um ano, o método aplicado produz o mesmo efeito com uma maior eficiência.

Ainda respeitante à *DataFrame CC*, no final deste processo foram adicionadas duas colunas, uma denominada "TOTAL" e outra denominada "ABSTOTAL". A primeira soma os resultados de todas as outras carteiras e serve como controlo uma vez que o resultado, em cada linha, deverá sempre ser zero. Aliás, o próprio programa testa e interrompe a execução do mesmo em caso de erro. Já a segunda, representa metade do somatório do módulo de todas as carteiras, apresentando assim o Número de Base de Créditos, abordado no ponto 3.1.1.

4.4.2.2 Sintetização Mensal do Registo Dinâmico CC

Com o objetivo de sintetizar a informação num resumo mensal, tem-se por base o registo dinâmico criado no ponto anterior, *CC*, já que este registo apresenta todas as informações existentes relativas às carteiras de todos os membros da comunidade, atualizadas de acordo com a data.

Esta sintetização é importante porque facilita a verificação do saldo mensal das carteiras de créditos e permitirá verificar se o objetivo da liquidação referido no ponto 4.4.1, referente às Regras Fundamentais do Caso de Estudo, é cumprido.

Assim, criou-se uma nova *DataFrame*, *MonthResultsCC*, com o intuito de guardar a última data existente na base de dados de cada mês e os respetivos valores. Como a periodicidade dos dados é quarto-horária, o filtro aplicado iria encontrar o último dia de cada mês (a inserção da data no formato anteriormente referido é muito útil neste ponto, já que a biblioteca *Pandas* interpreta automaticamente o mês e sabe qual é o seu último dia) e extrair a informação presente na hora "23:45:00" para esta nova *df*.

Para garantir que o último mês não é esquecido (por não existirem dados até ao último dia), foi necessário proceder à concatenação da última linha da *df CC* à *MonthResultsCC*, garantindo que são apresentados todos os meses disponibilizados.

4.4.2.3 Cálculo Monetário Mensal

Tendo acesso a uma *DataFrame MonthResultsCC* com os resultados mensais, a obtenção do valor monetário que cada membro tem de liquidar no final de cada mês será guardada numa nova *df* denominada *CM*.

Esta nova *df*, de acordo com a coluna *HoraLegal* presente tanto na *MonthResultsCC* como na *CM*, define as condições de acordo com o membro e com as regras de mercado fundamentadas no ponto 4.4.1 e apresenta o resultado para as carteiras do CP1, I2, C2, C3 e C4.

O valor monetário é calculado em duas fases. Primeiro, tem em conta os acordos existentes no início do mês, em que os consumidores compram um número de créditos à EGAC ou ao investidor I2. A segunda fase tem por base o saldo de créditos existente na carteira no final do mês, isto é, no momento em que tem de se efetuar a liquidação dos saldos de créditos. A *df CM* apresenta o somatório destas duas fases.

4.4.2.4 Registo de Transações

Esta última etapa trata de estruturar um registo de todas as transações de créditos efetuadas no decorrer do ano, vem no decorrer da primeira etapa e é um complemento importante para efetuar análises comportamentais dentro da CER.

Para elaborar este registo de transações, guardado numa nova *DataFrame* denominada *RegTransact*, foram imprescindíveis os últimos cálculos efetuados no ponto 4.2.1.3, relativos ao fluxo de energia entre edifícios.

A *RegTransact* é composta por cinco colunas: Data, Origem, Destino, Valor e Tipo. A Origem representa o ponto de partida dos créditos e o Destino o ponto de chegada dos mesmos, ou seja,

o valor indicado no campo com o mesmo nome foi somado na carteira da origem e subtraído na carteira do destino. Por último, o Tipo é um método de classificação para poder filtrar valores de acordo com o pretendido, existindo 5 categorias: "BOM"(*beginning of month*), "EOM"(*end of month*), "A"(autoconsumida), "E"(excedente) e "RV"(repartição virtual).

De todas as etapas, esta é a mais complexa de realizar uma vez que depende, direta ou indiretamente, das anteriores. O primeiro passo foi definir duas funções (ou rotinas) auxiliares, *print_consumer_producer* e *calculate_negative_sale*. Estas duas rotinas têm por objetivo adicionar à *df RegTransact* os valores com o sinal correto e assegurar que o valor inserido representa o número de créditos (e não valores associados a fluxos de potência).

De seguida, estão definidas todas as condições possíveis de transações de créditos na comunidade, divididas em três momentos: as condições que são aplicadas no início de cada mês (são exemplos a compra de créditos e o pagamento do aluguer dos telhados), as condições que são aplicadas durante o mês (como o caso dos fluxos energéticos associados à repartição virtual, ao autoconsumo e ao excedente) e as condições aplicadas no fim do mês (liquidações das carteiras de créditos).

No fim desta etapa, coincidindo com o final do *script*, é exportado um documento em formato *.csv* com todos os resultados obtidos (*CC*, *MonthResultsCC*, *CM* e *RegTransact*), um por folha. No caso dos resultados obtidos para *RegTransact*, apresenta todas as transações efetuadas, passível de aplicação de filtros no *software Excel* que permitem obter padrões de consumo na comunidade.

4.4.3 Resultados da Simulação do SGCrE

Todos os resultados relevantes obtidos em bruto na linguagem de programação *Python* foram extraídos e posteriormente analisados com recurso ao *software Excel*. Por uma questão de descrição e demonstração dos passos tomados, utilizou-se o *software* de manipulação de código aberta *Jupyter*, mais precisamente o *Jupyter Notebook*, para demonstrar estes resultados em bruto antes de serem analisados.

De seguida, dividido pelas mesmas quatro etapas descritas no ponto 4.4.2, apresentam-se os resultados da simulação do SGCrE.

4.4.3.1 Registo Dinâmico

Tal como descrito no ponto 4.4.2.1, o registo dinâmico é uma *df* chamada *CC* que indica, por intervalo quarto-horário, cada uma das carteiras dos membros, o valor da energia excedente da CER e o Número Base de Créditos (NBC) existentes no sistema. A Figura 4.21 apresenta um excerto dos dados do registo dinâmico *CC*.

In [2]: CC

Out[2]:

	Data	HoraLegal	CP1	I2	C2	C3	C4	EGAC	EGAC2	EXTERNA	TOTAL	ABSTOTAL
0	2020-09-29 23:00:00	Ver	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2020-09-29 23:15:00	Ver	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2020-09-29 23:30:00	Ver	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2020-09-29 23:45:00	Ver	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2020-09-30 00:00:00	Ver	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
34695	2021-09-29 22:00:00	Ver	-776.89	2,957.30	-1,024.41	-721.99	-212.01	2,378.40	2,378.40	-2,600.40	0.00	5,335.70
34696	2021-09-29 22:15:00	Ver	-776.89	2,957.30	-1,024.41	-721.99	-212.01	2,378.40	2,378.40	-2,600.40	0.00	5,335.70
34697	2021-09-29 22:30:00	Ver	-776.89	2,957.30	-1,024.41	-721.99	-212.01	2,378.40	2,378.40	-2,600.40	0.00	5,335.70
34698	2021-09-29 22:45:00	Ver	-776.89	2,957.30	-1,024.41	-721.99	-212.01	2,378.40	2,378.40	-2,600.40	0.00	5,335.70
34699	2021-09-29 23:00:00	Ver	-776.89	2,957.30	-1,024.41	-721.99	-212.01	2,378.40	2,378.40	-2,600.40	0.00	5,335.70

34700 rows x 12 columns

Figura 4.21: Registo dinâmico CC executado no *Jupyter*. Todos os valores apresentados estão em créditos de energia (CrE).

Observando a Figura 4.21, verifica-se a existência das carteiras dos membros, o valor da energia excedente da CER ("EXTERNA") e o NBC (definido como "ABSTOTAL") existentes no sistema. Reforça-se a ideia de que as colunas EGAC2 e TOTAL são colunas de controlo que servem para verificar se a implementação do sistema está correta e não constarão no resumo mensal.

4.4.3.2 Resumo Mensal

A sintetização do registo dinâmico CC culmina no resumo mensal *MonthResultsCC*. É com recurso aos resultados produzidos por este resumo que será possível validar o conceito, comparando com os resultados obtidos na análise realizada anteriormente em *Excel*. A Figura 4.22 apresenta o resultado obtido para o resumo mensal.

In [3]: MonthResultsCC

Out[3]:

	Data	HoraLegal	CP1	I2	C2	C3	C4	EGAC	EXTERNA	ABSTOTAL
0	2020-09-30 23:45:00	Ver	-30.83	140.50	-42.00	-70.69	-80.53	200.75	-117.20	341.25
1	2020-10-31 23:45:00	Inv	-803.28	2,625.10	-1,168.48	-649.47	-1,760.67	2,940.80	-1,184.00	5,565.90
2	2020-11-30 23:45:00	Inv	-476.21	1,312.30	-943.47	-53.86	-846.36	1,214.10	-206.50	2,526.40
3	2020-12-31 23:45:00	Inv	-370.47	1,078.45	-867.55	119.67	-674.89	778.70	-63.90	1,976.82
4	2021-01-31 23:45:00	Inv	-559.27	1,547.35	-1,227.91	-193.05	-1,013.81	1,638.25	-71.90	3,185.60
5	2021-02-28 23:45:00	Inv	-473.96	1,566.45	-971.03	-59.74	-1,061.77	1,503.45	-503.40	3,069.90
6	2021-03-31 23:45:00	Ver	-1,221.20	3,640.20	-1,533.43	-1,157.17	-1,792.25	4,433.55	-2,369.70	8,073.75
7	2021-04-30 23:45:00	Ver	-1,252.42	3,310.80	-1,352.65	-910.34	-1,563.59	3,927.10	-2,158.90	7,237.90
8	2021-05-31 23:45:00	Ver	-1,679.78	4,272.80	-1,396.28	-1,158.43	-1,852.96	5,275.75	-3,461.10	9,548.55
9	2021-06-30 23:45:00	Ver	-1,491.31	4,175.05	-1,309.18	-708.78	-1,453.33	4,549.35	-3,761.80	8,724.40
10	2021-07-31 23:45:00	Ver	-1,500.13	4,817.35	-1,679.52	-857.12	-1,781.78	6,075.60	-5,074.40	10,892.95
11	2021-08-31 23:45:00	Ver	-1,325.23	4,424.00	-1,829.73	-720.09	-835.05	4,904.90	-4,618.80	9,328.90
12	2021-09-29 23:00:00	Ver	-776.89	2,957.30	-1,024.41	-721.99	-212.01	2,378.40	-2,600.40	5,335.70

Figura 4.22: Resumo mensal *MonthResultsCC* executado no *Jupyter*. Todos os valores apresentados estão em créditos de energia (CrE).

Através da Figura 4.22, para além de ser possível verificar o saldo mensal de cada um dos membros, consumidores e investidor, é também possível ver o saldo da EGAC, a energia excedente da CER total mensal ("EXTERNA") e a quantidade de créditos no sistema, isto é, o NBC (na figura representado como "ABSTOTAL").

4.4.3.3 Resumo Monetário Mensal

O resumo monetário mensal supracitado permite, em função das regras estabelecidas no ponto 4.4.1, calcular o valor monetário a pagar, em caso de saldo negativo, ou, caso contrário, a receber, associado ao consumo de energia renovável. Os valores calculados estão guardados num registo *CM* e a Figura 4.23 apresenta o resultado obtido referente a esse registo.

	Data	HoraLegal	CP1	I2	C2	C3	C4
0	2020-09-30 23:45:00	Ver	-2.47	30.64	-3.36	-85.66	-24.44
1	2020-10-31 23:45:00	Inv	-80.33	254.26	-116.85	-164.95	-194.07
2	2020-11-30 23:45:00	Inv	-47.62	136.11	-84.35	-105.39	-102.64
3	2020-12-31 23:45:00	Inv	-37.05	115.06	-86.76	-100.00	-85.49
4	2021-01-31 23:45:00	Inv	-55.93	157.26	-122.79	-119.30	-119.38
5	2021-02-28 23:45:00	Inv	-47.40	158.98	-97.10	-105.97	-124.18
6	2021-03-31 23:45:00	Ver	-97.70	345.62	-122.67	-172.57	-161.38
7	2021-04-30 23:45:00	Ver	-100.19	315.97	-108.21	-152.83	-143.09
8	2021-05-31 23:45:00	Ver	-134.38	402.55	-111.70	-172.67	-166.24
9	2021-06-30 23:45:00	Ver	-119.30	393.75	-104.73	-136.70	-134.27
10	2021-07-31 23:45:00	Ver	-120.01	451.56	-134.36	-148.57	-160.54
11	2021-08-31 23:45:00	Ver	-106.02	423.16	-146.38	-144.61	-84.80
12	2021-09-29 23:00:00	Ver	-62.15	284.16	-81.95	-137.76	-34.96

Figura 4.23: Resumo monetário mensal *CM* executado no *Jupyter*. Todos os valores apresentados estão em euro (€).

Através da Figura 4.23, é possível verificar o saldo monetário mensal de cada um dos membros, consumidores e investidor, isto é, qual o valor que estes receberam e/ou pagaram para liquidar a sua carteira no fim de cada mês.

4.4.3.4 Registo de Transações

O registo de transações *RegTransact* é uma *df* estruturada de forma a guardar todas as transações de créditos efetuadas ao longo de um ano presente nos dados do caso de estudo. A Figura 4.24 apresenta um excerto do resultado obtido referente ao registo de transações.

	Data	origin	destiny	value	type
0	2020-09-30 06:45:00	I2	C2	0.25	A
1	2020-09-30 06:45:00	EGAC E4	C4	0.25	A
2	2020-09-30 07:00:00	I2	C2	0.50	A
3	2020-09-30 07:00:00	EGAC E3	C3	0.50	A
4	2020-09-30 07:00:00	EGAC E4	C4	0.50	A
...	...	...	...	...	...
82408	2021-09-29 23:00:00	CP1	EGAC	776.89	EOM
82409	2021-09-29 23:00:00	I2	EGAC	-2,957.30	EOM
82410	2021-09-29 23:00:00	C2	EGAC	1,024.41	EOM
82411	2021-09-29 23:00:00	C3	EGAC	721.99	EOM
82412	2021-09-29 23:00:00	C4	EGAC	212.01	EOM

82413 rows x 5 columns

Figura 4.24: Registo de transações *RegTransact* executado no *Jupyter*. Todos os valores apresentados estão em créditos de energia (CrE).

Como se pode observar na Figura 4.24, o registo apresenta a data, a origem e o destino, o valor transacionado e a respetiva categoria. Neste caso específico, uma vez que os dados começam perto do fim do mês de setembro de 2020, a primeira transação registada é uma condição aplicada durante o mês (fluxo de energia relativo a autoconsumo) entre o investidor I2 e o consumidor C2, tendo sido adicionados 0,25CrE na carteira do investidor e subtraída a mesma quantia na carteira de C2. Já a última linha apresentada corresponde a uma situação de fim do mês, mais precisamente a uma liquidação entre o consumidor C4 e a EGAC, tendo sido adicionados 212,01 CrE na carteira do C4 e subtraída a mesma quantia na carteira da EGAC.

4.4.4 Análise de Resultados da Simulação

Neste ponto será efetuada a análise dos resultados obtidos na simulação, bem como a validação do conceito de SGCrE. Visando a verificação do funcionamento do conceito, serão comparados os valores de energia obtidos durante a análise do caso de estudo com os valores obtidos em créditos de energia impressos pelo *script*, que representaria o conceito de implementação do sistema. Reforça-se a ideia de que 1 CrE é igual a 1 kWh e esta relação é invariante no tempo.

Todos os valores utilizados na análise do caso de estudo, nos quais foram baseados os gráficos apresentados no ponto 4.3, estão presentes no Anexo A.

Antes de analisar os resultados, é importante explicitar que os dados do caso de estudo começam no final do mês de setembro de 2020 e terminam na mesma altura do ano seguinte, pelo que, o *script* apresenta os cálculos por mês e ano, enquanto as análises efetuadas anteriormente, no ponto 4.3, são médias e totais mensais e, propositadamente, descartam o ano em análise.

Ou seja, para o caso específico do mês de setembro, enquanto o *script* faz a distinção entre anos e apresenta os dados de acordo com os valores inseridos, os valores presentes no *Excel* apresentam a soma do mês de setembro nos dois anos presentes nos dados. Assim, a posterior validação dos dados terá de ter sempre este princípio em conta.

4.4.4.1 Registo Dinâmico

Começando pelo registo dinâmico CC, recorrendo aos dados obtidos no *script* e que foram exportados para o *Excel*, é possível demonstrar algumas das regras fundamentais que foram aplicadas neste registo. A Tabela 4.7 apresenta um conjunto de excertos extraídos do registo dinâmico, já tratados (isto é, sem variáveis de controlo nem de informação e com formato reduzido da data).

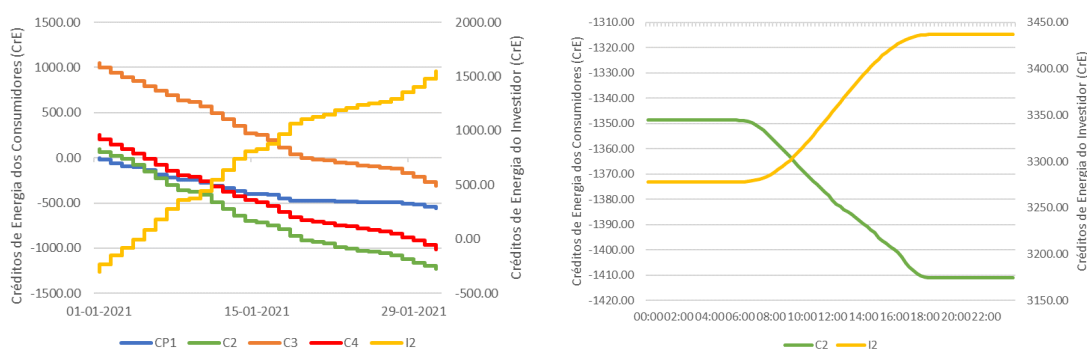
Tabela 4.7: Registo dinâmico CC. Todos os valores estão apresentados em CrE.

Data	CP1	I2	C2	C3	C4	EGAC	EXTERNA	NBC
...	...	...	...	...	...	...	...	...
2020-09-30 06:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020-09-30 06:45	0,00	0,25	-0,25	0,00	-0,25	0,25	0,00	0,50
2020-09-30 07:00	0,00	0,75	-0,75	-0,50	-0,75	1,25	0,00	2,00
2020-09-30 07:15	0,00	1,75	-1,75	-1,25	-1,50	2,75	0,00	4,50
2020-09-30 07:30	0,00	2,75	-2,75	-2,50	-2,50	5,00	0,00	7,75
...	...	...	...	...	...	...	...	...
2020-09-30 23:30	-30,83	140,50	-42,00	-70,69	-80,53	200,75	-117,20	341,25
2020-09-30 23:45	-30,83	140,50	-42,00	-70,69	-80,53	200,75	-117,20	341,25
2020-10-01 00:00	0,00	-300,00	100,00	1050,00	250,00	-1100,00	0,00	1400,00
2020-10-01 00:15	0,00	-300,00	100,00	1050,00	250,00	-1100,00	0,00	1400,00
...	...	...	...	...	...	...	...	...
2021-05-31 23:30	-1679,78	4272,80	-1396,28	-1158,43	-1852,96	5275,75	-3461,10	9548,55
2021-05-31 23:45	-1679,78	4272,80	-1396,28	-1158,43	-1852,96	5275,75	-3461,10	9548,55
2021-06-01 00:00	0,00	-300,00	100,00	1150,00	350,00	-1300,00	0,00	1600,00
2021-06-01 00:15	0,00	-300,00	100,00	1150,00	350,00	-1300,00	0,00	1600,00
2021-06-01 00:30	0,00	-300,00	100,00	1150,00	350,00	-1300,00	0,00	1600,00
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Segundo a Tabela 4.7, é possível observar as seguintes regras e fundamentos:

- No primeiro conjunto de dados, observa-se uma contabilização de créditos normal (neste caso a inicial, correspondente ao final do mês de setembro, daí todas as carteiras começarem nulas). Como se analisou anteriormente, em média, a produção de energia começa por volta as 7h00. Assim, apenas a partir dessa hora é que pode existir consumo de energia renovável e por isso, começam a ser descontados créditos às carteiras dos respetivos consumidores, de acordo com as regras de autoconsumo e repartição;
- No segundo conjunto de dados, é possível ver a troca de mês entre setembro e outubro. A observação deste intervalo é interessante na medida em que se verifica o reinício das carteiras de créditos dos consumidores e do investidor (e também da carteira de controlo da energia excedente);
- Ainda no segundo conjunto de dados, verifica-se que as carteiras não ficam todas nulas, uma vez que existem condições aplicadas no início de cada mês, como descrito no ponto 4.4.1;
- No último conjunto de dados, é possível verificar a troca de mês, com a particularidade do mês de junho, onde são aplicadas as compensações anuais aos consumidores C3 e C4.

A partir deste registo, é possível obter gráficos da variação de uma ou mais carteiras ao longo de períodos variáveis de tempo, seja um dia ou um mês. A Figura 4.25 apresenta um exemplo de cada, onde o eixo vertical direito refere-se unicamente à carteira do investidor I2:



(a) Variação mensal de carteiras de créditos.

(b) Variação diária de carteiras de créditos.

Figura 4.25: Variações de carteiras de créditos.

Através da Figura 4.25a, referente ao mês de janeiro de 2021, observa-se um contínuo decréscimo das carteiras dos consumidores. Em sentido inverso, apresenta-se a carteira do investidor I2. Como expectável pela altura do ano em questão, e de acordo com a Tabela 4.8 apresentada em baixo, é um dos meses onde a produção e o consumo de energia renovável são menores.

Já na Figura 4.25b, referente ao dia 24 de agosto, denota-se um grande crescimento da carteira I2 e um decréscimo não tão acentuado do consumidor C2. Seria expectável este cenário uma vez que agosto, sendo mês de verão, caracteriza-se por produções elevadas e consumos baixos.

4.4.4.2 Resumo Mensal

De seguida, trataram-se os dados relativos ao resumo mensal *MonthResultsCC*, obtendo-se o essencial da informação para posterior análise. O resultado desse tratamento de dados está apresentado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Resumo mensal CC. Todos os valores estão apresentados em CrE.

Data	CP1	I2	C2	C3	C4	EGAC	EXTERNA	NBC
Set 2020	-30,83	140,50	-42,00	-70,69	-80,53	200,75	-117,20	341,25
Out 2020	-803,28	2625,10	-1168,48	-649,47	-1760,67	2940,80	-1184,00	5565,90
Nov 2020	-476,21	1312,30	-943,47	-53,86	-846,36	1214,10	-206,50	2526,40
Dez 2020	-370,47	1078,45	-867,55	119,67	-674,89	778,70	-63,90	1976,82
Jan 2021	-559,27	1547,35	-1227,91	-193,05	-1013,81	1638,25	-71,90	3185,60
Fev 2021	-473,96	1566,45	-971,03	-59,74	-1061,77	1503,45	-503,40	3069,90
Mar 2021	-1221,20	3640,20	-1533,43	-1157,17	-1792,25	4433,55	-2369,70	8073,75
Abr 2021	-1252,42	3310,80	-1352,65	-910,34	-1563,59	3927,10	-2158,90	7237,90
Mai 2021	-1679,78	4272,80	-1396,28	-1158,43	-1852,96	5275,75	-3461,10	9548,55
Jun 2021	-1491,31	4175,05	-1309,18	-708,78	-1453,33	4549,35	-3761,80	8724,40
Jul 2021	-1500,13	4817,35	-1679,52	-857,12	-1781,78	6075,60	-5074,40	10892,95
Ago 2021	-1325,23	4424,00	-1829,73	-720,09	-835,05	4904,90	-4618,80	9328,90
Set 2021	-776,89	2957,30	-1024,41	-721,99	-212,01	2378,40	-2600,40	5335,70

De acordo com a Tabela 4.8, é possível verificar na última coluna e validar a análise efetuada relativamente à produção renovável: o NBC, isto é, o número de créditos em circulação no sistema,

apresenta os valores mais baixos nos meses em que existe menor produção de energia fotovoltaica (meses de inverno).

Com os dados tratados, será mais simples fazer as análises e comparações de variação mensal. Contudo, primeiro, é importante validar o conceito, isto é, verificar se os valores obtidos com a implementação em *Python* correspondem aos valores iniciais apresentados. Para cada um dos membros a verificação é diferente, por isso serão justificados os cálculos para a carteira de controlo de energia excedente da CER e de todos os membros, com exceção da EGAC, visto que esta é uma carteira que funciona em sentido inverso das outras (e se as outras estiverem corretamente verificadas, então esta será validada):

• Carteira CP1

Sendo o CP1 um consumidor auto-produtor que é responsável pelo consumo do edifício E1 e detém a UPAC neste instalado e a energia produzida, a sua carteira de créditos não será influenciada pelo autoconsumo (não existe um desequilíbrio contabilístico). Para além disso, o CP1 não participa em nenhum modelo de mercado. Como tal, dependerá de dois fatores: a energia injetada por este na CER e a energia consumida proveniente da repartição virtual (ou seja, que o destino seja o edifício E1). Assim, consultando os valores apresentados no Anexo A, obtém-se o conjunto de resultados apresentado na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Tabela do cálculo energético renovável do consumidor auto-produtor CP1.

Mês	Cálculo Energético Renovável CP1 (kWh)		
	Injetada E1	RepartVirt E1	Saldo Energético CP1
10 Outubro	18.10	821.38	-803.28
11 Novembro	0.10	476.31	-476.21
12 Dezembro	0.00	370.47	-370.47
1 Janeiro	0.00	559.27	-559.27
2 Fevereiro	2.00	475.96	-473.96
3 Março	14.90	1236.10	-1221.20
4 Abril	34.40	1286.82	-1252.42
5 Maio	59.90	1739.68	-1679.78
6 Junho	56.20	1547.51	-1491.31
7 Julho	45.30	1545.43	-1500.13
8 Agosto	33.10	1358.33	-1325.23
9 Setembro	34.40	842.12	-807.72

De seguida, somaram-se os créditos relativos ao mês de setembro nos dois anos, apresentados na Tabela 4.8:

$$CrE_{SetTOTAL} = -30,83 + (-776,89) = -807,72 \text{ CrE} \quad (4.9)$$

Comparando os resultados obtidos em créditos de energia (segunda coluna da Tabela 4.8) e no saldo energético (Tabela 4.9), verificou-se que são iguais, pelo que, a implementação funcionou corretamente para este caso.

• Carteira I2

Sendo I2 um investidor que detém a UPAC e a energia produzida do edifício E2, a sua carteira de créditos será influenciada apenas pela energia que produz (para o saldo monetário, é necessário ter em conta qual a energia autoconsumida, qual a repartida virtual e qual excedente, mas para o cálculo dos créditos o valor a considerar é o da energia produzida). Para além disso, o I2 participa em modelos de mercado (de acordo com as regras apresentadas no ponto 4.4.1): todos os meses, vende 200 CrE (200 kWh) ao consumidor C4 e paga a renda do telhado com 100 CrE (100 kWh) ao consumidor C2; no mês de agosto, vende 100 CrE (100 kWh) ao consumidor C3. Como tal, dependerá de dois fatores: as subtrações de créditos no início do mês e a energia produzida durante o mesmo. Assim, consultando os valores apresentados no Anexo A, obtém-se o conjunto de resultados apresentado na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Tabela do cálculo energético renovável do investidor I2.

Mês	Cálculo Energético I2 (kWh)		
	Produzida E2	Modelos de Mercado	Saldo Energético I2
10 Outubro	2925.10	-300.00	2625.10
11 Novembro	1612.30	-300.00	1312.30
12 Dezembro	1378.45	-300.00	1078.45
1 Janeiro	1847.35	-300.00	1547.35
2 Fevereiro	1866.45	-300.00	1566.45
3 Março	3940.20	-300.00	3640.20
4 Abril	3610.80	-300.00	3310.80
5 Maio	4572.80	-300.00	4272.80
6 Junho	4475.05	-300.00	4175.05
7 Julho	5117.35	-300.00	4817.35
8 Agosto	4824.00	-400.00	4424.00
9 Setembro	3397.80	-300.00	3097.80

De seguida, somaram-se os créditos relativos ao mês de setembro nos dois anos, apresentados na Tabela 4.8:

$$CrE_{Set_{TOTAL}} = 140,50 + 2957,30 = 3097,80 \text{ CrE} \quad (4.10)$$

Comparando os resultados obtidos em créditos de energia (segunda coluna da Tabela 4.8) e no saldo energético (Tabela 4.10), verificou-se que são iguais, pelo que, a implementação funcionou corretamente para este caso.

• Carteira C2

Sendo o C2 um consumidor auto-produtor que é responsável pelo consumo do edifício E2 mas não detém a UPAC neste instalado nem a energia produzida, a sua carteira de créditos dependerá de dois fatores: o autoconsumo e a energia repartida virtual. Para além disso, o C2 não participa em nenhum modelo de mercado, no entanto recebe mensalmente 100 CrE (100 kWh) da renda do telhado proveniente do investidor I2. Assim, consultando os valores apresentados no Anexo A, obtém-se o conjunto de resultados apresentado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Tabela do cálculo energético renovável do consumidor C2.

Mês	Cálculo Energético Renovável C2 (kWh)			
	Autoconsumida E2	RepartVirt E2	Modelos de Mercado	Saldo Energético C2
10 Outubro	1267.80	0.68	100.00	-1168.48
11 Novembro	1041.90	1.57	100.00	-943.47
12 Dezembro	965.65	1.90	100.00	-867.55
1 Janeiro	1324.65	3.26	100.00	-1227.91
2 Fevereiro	1070.55	0.48	100.00	-971.03
3 Março	1632.60	0.83	100.00	-1533.43
4 Abril	1451.90	0.75	100.00	-1352.65
5 Maio	1494.00	2.28	100.00	-1396.28
6 Junho	1408.25	0.93	100.00	-1309.18
7 Julho	1778.25	1.27	100.00	-1679.52
8 Agosto	1926.00	3.73	100.00	-1829.73
9 Setembro	1166.00	0.41	100.00	-1066.41

De seguida, somaram-se os créditos relativos ao mês de setembro nos dois anos, apresentados na Tabela 4.8:

$$CrE_{Set_{TOTAL}} = -42,00 + (-1024,41) = -1066,41 \text{ CrE} \quad (4.11)$$

Comparando os resultados obtidos em créditos de energia (segunda coluna da Tabela 4.8) e no saldo energético (Tabela 4.11), verificou-se que são iguais, pelo que, a implementação funcionou corretamente para este caso.

• Carteira C3

Sendo o C3 um consumidor auto-produtor que é responsável pelo consumo do edifício E3 mas não detém a UPAC neste instalado nem a energia produzida, a sua carteira de créditos dependerá de dois fatores: o autoconsumo e a energia repartida virtual. Para além disso, o C3 participa em modelos de mercado (de acordo com as regras apresentadas no ponto 4.4.1): todos os meses, compra 1000 CrE (1 MWh) à EGAC e recebe da mesma uma renda do telhado no valor de 50 CrE (50 kWh); no mês de junho, recebe um prémio anual de 100 CrE (100 kWh) pela cedência do telhado; no mês de agosto, compra 100 CrE (100 kWh) ao investidor I2. Assim, consultando os valores apresentados no Anexo A, obtém-se o conjunto de resultados apresentado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Tabela do cálculo energético renovável do consumidor C3.

Mês	Cálculo Energético Renovável C3 (kWh)				
	Autoconsumida E3	RepartVirt E3	Modelos de Mercado	Saldo Energético Virtual C3	Saldo Energético Real C3
10 Outubro	1490.75	208.72	1050.00	-649.47	-649.47
11 Novembro	1006.25	97.61	1050.00	-53.86	-53.86
12 Dezembro	850.70	79.63	1050.00	119.67	119.67
1 Janeiro	1266.10	96.62	1050.00	-312.72	-193.05
2 Fevereiro	1023.85	85.89	1050.00	-59.74	-59.74
3 Março	1977.50	229.67	1050.00	-1157.17	-1157.17
4 Abril	1714.10	246.24	1050.00	-910.34	-910.34
5 Maio	1951.25	257.18	1050.00	-1158.43	-1158.43
6 Junho	1713.00	145.78	1150.00	-708.78	-708.78
7 Julho	1835.65	71.47	1050.00	-857.12	-857.12
8 Agosto	1809.60	60.49	1050.00	-820.09	-820.09
9 Setembro	1624.35	218.33	1050.00	-792.68	-792.68

Observando a Tabela 4.12, nomeadamente nos valores sombreados, é possível verificar outra das regras fundamentais apresentadas no ponto 4.4.1, isto é, a possibilidade de um consumidor transitar o seu saldo positivo de créditos para o mês seguinte.

De seguida, somaram-se os créditos relativos ao mês de setembro nos dois anos, apresentados na Tabela 4.8:

$$CrE_{Set_{TOTAL}} = -70,69 + (-721,99) = -792,68 \text{ CrE} \quad (4.12)$$

Comparando os resultados obtidos em créditos de energia (segunda coluna da Tabela 4.8) e no saldo energético (Tabela 4.12), verificou-se que são iguais, pelo que, a implementação funcionou corretamente para este caso.

• Carteira C4

Semelhante ao consumidor C3, o C4 é um consumidor auto-produtor que é responsável pelo consumo do edifício E4 mas não detém a UPAC nele instalado nem a energia produzida, pelo que, a sua carteira de créditos dependerá de dois fatores: o autoconsumo e a energia repartida virtual. Para além disso, o C3 participa em modelos de mercado (de acordo com as regras apresentadas no ponto 4.4.1): todos os meses, compra 200 CrE (200 kWh) ao I2 e recebe da EGAC uma renda do telhado no valor de 50 CrE (50 kWh); no mês de junho, recebe um prémio anual de 100 CrE (100 kWh) pela cedência do telhado. Assim, consultando os valores apresentados no Anexo A, obtém-se o conjunto de resultados apresentado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Tabela do cálculo energético renovável do consumidor C4.

Mês	Cálculo Energético Renovável C4 (kWh)			
	Autoconsumida E4	RepartVirt E4	Modelos de Mercado	Saldo Energético C4
10 Outubro	1792.25	218.42	250.00	-1760.67
11 Novembro	1037.25	59.11	250.00	-846.36
12 Dezembro	877.50	47.39	250.00	-674.89
1 Janeiro	1195.45	68.36	250.00	-1013.81
2 Fevereiro	1173.10	138.67	250.00	-1061.77
3 Março	1951.05	91.20	250.00	-1792.25
4 Abril	1745.70	67.89	250.00	-1563.59
5 Maio	2053.50	49.46	250.00	-1852.96
6 Junho	1624.95	178.38	300.00	-1503.33
7 Julho	1994.95	36.83	250.00	-1781.78
8 Agosto	1058.60	26.45	250.00	-835.05
9 Setembro	471.90	70.64	250.00	-292.54

De seguida, somaram-se os créditos relativos ao mês de setembro nos dois anos, apresentados na Tabela 4.8:

$$CrE_{Set_{TOTAL}} = -80,53 + (-212,01) = -292,54 \text{ CrE} \quad (4.13)$$

Comparando os resultados obtidos em créditos de energia (segunda coluna da Tabela 4.8) e no saldo energético (Tabela 4.13), verificou-se que são iguais, pelo que, a implementação funcionou corretamente para este caso.

• Carteira EXTERNA

A carteira EXTERNA é uma carteira virtual, que tem por objetivo indicar à EGAC a quantidade de energia que foi injetada na RESP. Assim, consultando os valores apresentados no Anexo A, obtém-se o conjunto de resultados apresentado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Tabela do cálculo energético renovável da carteira virtual EXTERNA.

Mês	Cálculo Energético Renovável EXTERNA (kWh)	
	Excedente Total	Saldo Energético EXTERNA
10 Outubro	1184.00	-1184.00
11 Novembro	206.50	-206.50
12 Dezembro	63.90	-63.90
1 Janeiro	71.90	-71.90
2 Fevereiro	503.40	-503.40
3 Março	2369.70	-2369.70
4 Abril	2158.90	-2158.90
5 Maio	3461.10	-3461.10
6 Junho	3761.80	-3761.80
7 Julho	5074.40	-5074.40
8 Agosto	4618.80	-4618.80
9 Setembro	2717.60	-2717.60

De seguida, somaram-se os créditos relativos ao mês de setembro nos dois anos, apresentados na Tabela 4.8:

$$CrE_{SetTOTAL} = -117,20 + (-2600,40) = -2717,60 \text{ CrE} \quad (4.14)$$

Comparando os resultados obtidos em créditos de energia (segunda coluna da Tabela 4.8) e no saldo energético (Tabela 4.14), verificou-se que são iguais, pelo que, a implementação funcionou corretamente para este caso.

• Carteira EGAC

Como indicado anteriormente, uma vez provado que a implementação de todas as carteiras funciona e a carteira da EGAC é dependente destas, conclui-se que todas carteiras foram corretamente implementadas.

Uma vez validado o conceito da implementação das carteiras, segue-se a análise aos resultados obtidos para o resumo monetário mensal.

4.4.4.3 Resumo Monetário Mensal

O principal foco desta dissertação não se trata de analisar valores monetários, mas sim de desenhar e simular uma implementação do SGCrE numa comunidade. Como tal, não é um objetivo validar os resultados obtidos nesta secção mas sim demonstrar como é que a implementação deste sistema pode beneficiar os membros da CER no controlo das suas transações de valor.

Através da Figura 4.23, é possível verificar o saldo monetário mensal de cada um dos membros, consumidores e investidor. De seguida, trataram-se os dados obtidos no *Excel* e o resultado desse tratamento de dados está apresentado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Resumo monetário mensal CM. Valores em euro (€).

Data	HoraLegal	CP1	I2	C2	C3	C4
Set 2020	Ver	-2,47	30,64	-3,36	-85,66	-24,44
Out 2020	Inv	-80,33	254,26	-116,85	-164,95	-194,07
Nov 2020	Inv	-47,62	136,11	-94,35	-105,39	-102,64
Dez 2020	Inv	-37,05	115,06	-86,76	-100,00	-85,49
Jan 2021	Inv	-55,93	157,26	-122,79	-119,30	-119,38
Fev 2021	Inv	-47,40	158,98	-97,10	-105,97	-124,18
Mar 2021	Ver	-97,70	345,62	-122,67	-172,57	-161,38
Abr 2021	Ver	-100,19	315,97	-108,21	-152,83	-143,09
Mai 2021	Ver	-134,38	402,55	-111,70	-172,67	-166,24
Jun 2021	Ver	-119,30	393,75	-104,73	-136,70	-134,27
Jul 2021	Ver	-120,01	451,56	-134,36	-148,57	-160,54
Ago 2021	Ver	-106,02	423,16	-146,38	-144,61	-84,80
Set 2021	Ver	-62,15	284,16	-81,95	-137,76	-34,96

Observando a Tabela 4.15, existe uma célula sombreada na coluna do consumidor C3. É relevante realçar que este valor, -100,00€ corresponde ao valor pago pelo consumidor C3 à EGAC pelos 1000 CrE. Como se verificou na Tabela 4.12, este consumidor não necessitou de efetuar

liquidação financeira no mês de dezembro uma vez que terminou com um saldo positivo de créditos. Este facto reflete-se automaticamente no resumo monetário mensal, na medida em que os custos, no fim deste mês, se limitaram à compra efetuada no início do mês, respeitante ao modelo de mercado Bilateral PPA a que o C3 está sujeito por acordo mútuo.

A partir da Tabela 4.15 é possível criar um gráfico demonstrativo da variação monetária mensal de cada um dos membros, apresentado na Figura 4.26.

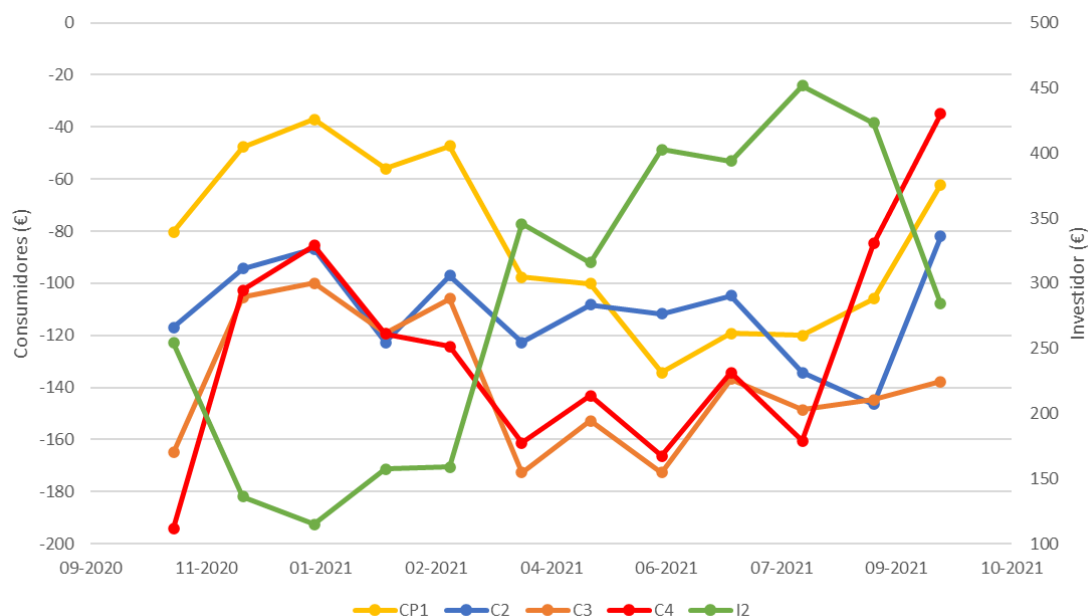


Figura 4.26: Gráfico de resumo monetário mensal dos consumidores da CER.

Através do gráfico apresentado na Figura 4.26, observa-se que, tal como expectável, o saldo da carteira monetária do investidor I2 é superior nos meses de verão (dada maior produção de energia renovável). Por outro lado, o saldo menos negativo dos consumidores C2, C3 e C4 nos meses de inverno é facilmente explicável uma vez que, apesar do seu consumo bruto aumentar, a quantidade de energia renovável disponível para compra é menor nesta altura do ano. Por último, apesar de o CP1 ter uma necessidade de consumo muito alta, apresenta os maiores saldos negativos porque detém a produção de energia do seu edifício, o que ajuda a gastar menos valor monetário ao fim do mês.

4.4.4.4 Registo de Transações

Por último, trataram-se os dados relativos ao registo de transações *RegTransact*. Este registo apresenta um total de 82 412 entradas de informação, pelo que, não é possível demonstrar a validação de todos os resultados em separado.

- Registos de créditos associados à liquidação mensal

De acordo com o explicitado no ponto 4.4.3.4, todos os movimentos associados à liquidação mensal estão categorizados com o código "EOM".

O número de registos de liquidação mensal terá de ser igual ao produto do número de meses existente no caso de estudo (13) pelo número de carteiras que efetua liquidação mensal (5), desde que subtraindo o número de vezes que uma carteira não efetuou liquidação por não ter necessidade de tal (1). Assim, uma vez filtrada a informação no registo de transações, encontram-se um total de 64 transações, todas presentes no Anexo B para efeitos de validação de conceito.

Se compararmos os valores apresentados no Anexo B com a 4.8, é possível verificar que coincidem. A Tabela 4.16 apresenta um sumário anual face à informação filtrada pretendida.

Tabela 4.16: Somatório anual dos registos de créditos associados à liquidação mensal. Todos os valores apresentados estão em CrE.

Membro	CP1	I2	C2	C3	C4
Valor Anual (CrE)	11960.98	-35867.65	15345.64	7260.73	14929

Observando a Tabela 4.8 e somando os valores que foram liquidados - todos menos o C3 no mês de dezembro - (ou seja, o valor com o sinal invertido, por forma a saldar a carteira), o valor anual de cada um dos membros coincidiria com o calculado a partir dos registos. É interessante abordar a liquidação deste ponto de vista para retirar uma conclusão: o valor anual de créditos movimentados pelo investidor é mais do dobro de qualquer outro membro.

- Registos de créditos associados à repartição virtual, em especial com destino ao edifício E1

De acordo com o analisado no ponto 4.3.5, existe uma clara tendência quando se analisa o destino da energia repartida virtual: mais de 80% do fluxo dirige-se ao edifício E1, totalizando 12 259 kWh de energia consumida via repartição virtual. Para além disso, 9 372 kWh tem como origem o edifício E2.

Com o intuito de assegurar que o registo cumpre a segunda etapa de verificação da implementação do SGCrE, filtrou-se a informação de acordo com a categoria ("RV") e o par origem-destino e criaram-se o conjunto de Tabelas 4.17 a 4.20, que resume mensal e anualmente as transações de créditos de energia, separadas de acordo com o destino.

Tabela 4.17: Resumo mensal e anual dos registros de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E1.

		Fluxos Destino E1		
Mês		I2	EGAC E3	EGAC E4
1	Janeiro	347.25	109.22	102.80
2	Fevereiro	315.23	100.46	60.27
3	Março	747.58	223.11	265.41
4	Abril	743.73	212.27	330.82
5	Maio	979.56	300.68	459.44
6	Junho	864.68	301.67	381.15
7	Julho	785.12	333.27	427.05
8	Agosto	643.61	328.45	386.27
9	Setembro	494.45	152.32	195.36
10	Outubro	570.32	164.27	86.79
11	Novembro	319.67	90.30	66.34
12	Dezembro	267.06	45.12	58.29
Total (CrE)		7078.25	2361.13	2820.01
		Total (CrE)		12259.39

Tabela 4.18: Resumo mensal e anual dos registros de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E2.

		Fluxos Destino E2		
Mês		CP1	EGAC E3	EGAC E4
1	Janeiro	0.00	1.77	1.48
2	Fevereiro	0.00	0.17	0.30
3	Março	0.00	0.47	0.36
4	Abril	0.00	0.35	0.40
5	Maio	0.00	1.64	0.64
6	Junho	0.00	0.61	0.32
7	Julho	0.00	0.33	0.93
8	Agosto	0.00	1.20	2.53
9	Setembro	0.00	0.39	0.02
10	Outubro	0.00	0.61	0.07
11	Novembro	0.00	1.19	0.38
12	Dezembro	0.00	0.47	1.43
Total (CrE)		0.00	9.21	8.86
		Total (CrE)		18.07

Tabela 4.19: Resumo mensal e anual dos registros de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E3.

		Fluxos Destino E3		
Mês		CP1	I2	EGAC E4
1	Janeiro	0.00	83.66	12.96
2	Fevereiro	0.00	75.99	9.90
3	Março	0.62	182.54	46.51
4	Abril	0.87	185.72	59.64
5	Maio	1.28	191.70	64.19
6	Junho	0.81	119.74	25.24
7	Julho	0.08	57.12	14.28
8	Agosto	0.08	40.75	19.67
9	Setembro	1.20	167.96	49.17
10	Outubro	0.90	187.74	20.08
11	Novembro	0.00	85.76	11.85
12	Dezembro	0.00	65.42	14.21
Total (CrE)		5.84	1444.11	347.69
		Total (CrE)		1797.64

Tabela 4.20: Resumo mensal e anual dos registros de créditos associados à repartição virtual com destino ao edifício E4.

		Fluxos Destino E4		
Mês		CP1	I2	EGAC E3
1	Janeiro	0.00	55.03	13.33
2	Fevereiro	0.38	108.99	29.31
3	Março	0.17	74.10	16.93
4	Abril	0.93	56.50	10.47
5	Maio	0.04	44.13	5.29
6	Junho	1.32	136.06	41.01
7	Julho	0.08	31.31	5.44
8	Agosto	0.00	20.61	5.84
9	Setembro	0.44	57.51	12.69
10	Outubro	0.76	176.59	41.07
11	Novembro	0.02	48.32	10.77
12	Dezembro	0.00	40.89	6.50
Total (CrE)		4.13	850.03	198.64
		Total (CrE)		1052.80

Observando os resultados obtidos na análise, presentes no Anexo A, e comparando com os obtidos no conjunto de Tabelas 4.17 a 4.20, confirma-se que a implementação não apenas regista todas as transações corretamente como também permite uma filtragem rápida para análises mais eficazes. Considera-se assim que esta etapa da validação foi concluída com sucesso. A Tabela 4.21 apresenta a média de créditos de energia transacionados por transação associada à repartição virtual.

Tabela 4.21: Média de CrE transacionados por transação com categoria RV.

Edifício Destino	E1	E2	E3	E4
CrE	12259,39	18,07	1797,64	1052,80
Nº Transações	20832	282	5968	4140
CrE Médio	0,59	0,06	0,30	0,25

Observando as Tabelas 4.17 e 4.21, é possível afirmar que, para além dos fluxos de créditos provenientes da energia repartida virtual serem dominados pelo edifício E1, também o valor médio de créditos transacionados por transação é dominado pelo mesmo. Realça-se a ideia de que, uma vez que a repartição virtual é baseada nos consumos, a grande necessidade de consumo por parte do CP1 é a principal causa pela qual os resultados apresentam estes contornos.

- Registos associados à energia transacionada pelo investidor I2

O investidor I2 produz energia que pode ter três finalidades: é autoconsumida pelo consumidor C2; é consumida no processo de repartição virtual pelos consumidores CP1, C3 e C4; ou então é considerada excedente e é vendida à EGAC. De acordo com o analisado nos pontos 4.3.2 e 4.3.4, o investidor I2 é responsável por 56% da energia injetada total anual e representa 52% da energia excedente da CER anual.

Visando um último passo de validação do sistema implementado, filtraram-se as transações de créditos de energia e registaram-se os resultados obtidos na Tabela 4.22.

Tabela 4.22: Resumo mensal e anual dos registos de créditos associados à energia transacionada pelo investidor I2.

		I2				
Categoria		A	Repartição Virtual			E
Mês		C2	CP1	C3	C4	EGAC
1	Janeiro	1324.65	347.25	83.66	55.03	36.76
2	Fevereiro	1070.55	315.23	75.99	108.99	295.68
3	Março	1632.60	747.58	182.54	74.10	1303.38
4	Abril	1451.90	743.73	185.72	56.50	1172.94
5	Maio	1494.00	979.56	191.70	44.13	1863.41
6	Junho	1408.25	864.68	119.74	136.06	1946.32
7	Julho	1778.25	785.12	57.12	31.31	2465.56
8	Agosto	1926.00	643.61	40.75	20.61	2193.04
9	Setembro	1166.00	494.45	167.96	57.51	1511.88
10	Outubro	1267.80	570.32	187.74	176.59	722.66
11	Novembro	1041.90	319.67	85.76	48.32	116.64
12	Dezembro	965.65	267.06	65.42	40.89	39.43
Total (CrE)		16527.55	7078.25	1444.11	850.03	13667.71
Total (CrE)		16527.55	9372.39			13667.71
Total (CrE)						39567.65

Comparando os resultados da Tabela 4.22, obtidos aplicando filtros de análise aos registos retirados da implementação do SGCrE, com os resultados obtidos na análise inicial do caso de estudo, presentes no Anexo A, conclui-se que são iguais, significando que a última etapa de validação do sistema foi ultrapassada com sucesso.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste último capítulo, apresentam-se as conclusões obtidas no decorrer da realização da presente dissertação. Para além disso, são elaboradas respostas às questões de investigação e verificado o cumprimento dos objetivos propostos inicialmente. Por fim, são incluídas propostas de trabalho ou aplicações futuras com base no tema em causa.

5.1 Conclusões

Apesar do conceito de comunidade de energia renovável ser relativamente recente, visto ter surgido na Diretiva (UE) n.º 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, foi imediatamente considerado uma das principais soluções para o cumprimento das metas ambicionadas a nível europeu deliberadas na já referida diretiva.

A atualidade das questões ambientais, nomeadamente a nível energético, confere à CER uma posição de extrema relevância visto estas serem consideradas fundamentais para alcançar uma economia descarbonizada e para suportar a transição do setor elétrico para o consumo de energia produzida através de fontes renováveis.

Por outro lado, toda a legislação associada a este conceito, especialmente o enquadramento nacional, encontra-se em constante evolução e pode até suscitar o aparecimento de cenários e/ou situações que não são abordadas na regulamentação existente, pelo que é possível que existam retificações que coloquem em causa alguns dos pressupostos considerados neste projeto.

Uma vez obtidos conhecimentos que permitissem um amplo entendimento do funcionamento e dos modelos existentes de comunidades de energia renovável, os principais objetivos desta dissertação consistiram em desenhar um modelo de transação de valor dentro de comunidades de energia renovável e, para além disso, fundamentar um sistema de gestão que conseguisse aplicar esse modelo de transação numa CER e simplificasse a análise.

No capítulo 3 delinearam-se detalhadamente os fundamentos, funcionalidades e operacionalidade do sistema de gestão de créditos de energia desenhado.

O **Crédito de Energia** (CrE) surgiu da necessidade de um modelo de transação de valor digital, mais eficaz e versátil dentro das CER.

O **Sistema de Gestão de Créditos de Energia** (SGCrE) funciona como um sistema de gestão e contabilidade energética. Tem como principais vantagens de aplicação permitir, através de uma plataforma, registar, controlar e analisar as transações de valor, financeiras e de fluxos energéticos. Cada membro tem uma carteira, incluindo a EGAC. Existe ainda uma carteira virtual para controlar a energia excedente da CER. Cada sistema de gestão terá de ser integrado numa CER apenas e não é possível a transferência de créditos entre comunidades.

Um crédito de energia define-se como um valor simbólico de contabilização de valor não liquidado, pelo que funciona como uma unidade de contabilidade de energia renovável. Cada crédito equivale a 1 kWh de energia renovável e este valor energético é invariante no tempo. Por outro lado, o valor monetário associado ao crédito é variável. Os créditos assumem quantidades positivas ou negativas contínuas.

A geração de um crédito está estritamente associada a um desequilíbrio contabilístico de energia. As várias funcionalidades do crédito incluem transferência, anulação e consumo de créditos. O método de implementação do sistema obriga a que o somatório de todos os créditos em circulação no sistema seja zero.

Uma das grandes vantagens da aplicação deste modelo de transação de valor numa CER reside na possibilidade de co-existência de diferentes modelos de mercado, tais como P2P e Bilateral PPA, em detrimento do mercado de retalho convencional. A existência destes mercados, em especial quando aplicados em conjunto, é muito benéfica para os membros na medida em que não obriga à existência de intermediários e permite trocas diretas de energia.

Existe um conjunto de tecnologias necessárias para que seja aplicada a implementação física do SGCrE, muitas delas já existentes. Face à fundamentação efetuada do conceito, foi possível delinear alguns requisitos que poderão ser úteis na construção do *software* associado ao sistema de gestão. O conhecimento associado à existência de moedas virtuais baseadas na tecnologia de *Blockchain* será muito útil na criação do *software* do SGCrE.

E, por fim, pelo facto deste sistema de gestão ser inovador, constata-se a ausência de qualquer tipo de regulamentação associada à sua aplicação em CER. Assim, apresentaram-se algumas diretrizes a serem seguidas no momento da formulação de um regulamento para o SGCrE.

Em resumo, o **SGCrE é uma forma eficaz de gerir a contabilidade de transações de energia dentro de uma CER** e de gerar modelos de faturação que evitem as perdas comerciais da EGAC. É uma base de transação adequada e eficaz para promover mercados de energia local e permite criar mecanismos de investimento para projetos de infraestruturas de produção de energias renováveis promovidos pela comunidade. Possibilita a implementação de mecanismos de *netmetering* ao nível de gestão da EGAC (sem interferir com os mecanismos da ORD), evita a múltipla tributação fiscal de um produto que já pertence ao consumidor e alarga as ações comerciais a outros bens e serviços transacionados dentro da CER.

No capítulo 4, visando a validação do conceito desenhado e para perceber quais as implicações de uma aplicação prática, estudou-se um caso de estudo real de uma comunidade.

Definiu-se um conjunto de regras e fundamentos fictícios que permitissem a obtenção e análise de uma maior variabilidade de resultados. Desta forma, neste caso de estudo foi aplicada a fundamentação do Sistema de Gestão de Créditos de Energia desenvolvido no capítulo 3.

Elaborou-se uma análise manual aos dados do caso de estudo, obtendo-se resultados relativos aos consumos, produções e fluxos energéticos desta comunidade. Para esta análise, considerou-se a repartição de energia virtual com base nos consumos. O objetivo desta análise foi servir de base de comparação aos resultados obtidos posteriormente pelo sistema de gestão de créditos de energia.

O caso de estudo em questão permitiu serem testadas uma variedade de cenários dentro da comunidade no SGCrE, entre eles:

- Diferentes perfis de membros: consumidores auto-produtores com e sem UPAC, investidores e EGAC com UPAC;
- Regras específicas: autoconsumo obrigatório, liquidação mensal obrigatória condicionada;
- Modelos de mercado diversificados: Local P2P, Bilateral PPA, transferência esporádica e trocas diretas;
- Ações comerciais: outros bens e serviços transacionados dentro da CER;
- Valores de compra e venda variáveis: aplicação de diferentes valores de referência da EGAC ao longo de um ano.

A simulação da implementação do SGCrE foi realizada na linguagem de programação *Python* dada a maior facilidade de manipulação de dados (variação das carteiras de créditos e de fluxos de créditos entre membros em função da energia transacionada) e os resultados obtidos foram tratados no software *Excel*. A simulação dividiu-se em quatro etapas que permitem descrever quais os principais requisitos deste sistema:

- Registo dinâmico: simula a variação das carteiras de créditos ao longo do tempo. É neste registo que mais facilmente se verificam os modelos de mercado;
- Resumo mensal: simula um período fixo das carteiras, correspondente ao fim do mês. É sobre este registo que se reflete a liquidação mensal;
- Resumo mensal monetário: simula o mesmo período que a etapa anterior, mas reflete os valores de compra e venda variáveis;
- Registo de transações: regista todas as transações de energia renovável dentro da comunidade e facilita a análise de fluxos de energia entre membros. Permite analisar os perfis dos membros e o autoconsumo obrigatório.

A validação dos resultados obtidos, e consequente validação do conceito, foi bem sucedida, uma vez que os valores em kWh obtidos na análise efetuada inicialmente foram iguais aos valores obtidos em CrE no fim da simulação do SGCrE.

A principal conclusão a retirar desta dissertação é que a aplicação do Crédito de Energia como modelo de transação de valor dentro de uma comunidade traz consigo inúmeras vantagens, nomeadamente a simplificação das transações de valor e de energia entre membros e uma gestão mais eficaz dos fluxos de energia na CER.

5.2 Respostas às Questões de Investigação

No início da presente dissertação, foram colocadas várias questões de investigação cujas respostas foram alcançadas com o trabalho desenvolvido:

- **É possível, dentro de uma CER, encontrar mecanismos funcionais e flexíveis de transacionar valor entre os diversos agentes da comunidade?**

Uma das principais motivações para a realização desta dissertação reside na dificuldade que existe atualmente em encontrar mecanismos flexíveis de transacionar valor entre membros da comunidade. Ainda que existam mecanismos funcionais, a sua aplicabilidade é limitada e a coexistência dessas soluções não é garantida.

Perante esse panorama, o conceito de créditos de energia surge como uma resposta para superar essa falta de conciliação entre funcionalidade e flexibilidade, apresentando-se como uma solução viável para a necessidade de mais eficiência e simplicidade na transação de valor dentro das comunidades.

- **A legislação permite a implementação dos mecanismos anteriormente referidos?**

A legislação em vigor permite a implementação de todos os mecanismos de transação de valor estudados e apresentados no ponto 2.2.1. Por outro lado, a nova solução implementada no decorrer desta dissertação não é abrangida por nenhuma regulamentação. Desta forma, abordou-se no ponto 3.3.3 qual a estrutura esperada para um regulamento que seja aplicável ao SGCrE.

- **É possível criar um modelo de negócio com os mecanismos de transação de energia existentes?**

Após a investigação realizada na construção do estado da arte, mencionado no ponto 2.2.1, no qual foram descritos os métodos de transação preexistentes, é possível afirmar que o modelo de transação de créditos de energia como modelo de negócio ostenta a capacidade abrangente de incorporar todas as modalidades existentes, capacitando a CER e os respetivos membros de alcançar níveis de eficácia superiores na gestão da energia renovável.

- **Que benefícios económicos podem trazer estes mecanismos para os membros da comunidade?**

Tal como já foi referido, é possível afirmar que a aplicação do SGCrE resguarda os membros de incidências duplas de tributação sobre um produto que já seria do consumidor.

Para além disso, possibilita contactar com uma maior quantidade de agentes para a compra e venda de energia de forma direta e trocar energia sob a forma de créditos diretamente com outros membros. Este segundo benefício é particularmente importante porque cria flexibilidade nos mercados, isto é, pode comprar créditos a outro membro num momento em que o seu valor monetário é inferior e gastar esses créditos em momentos onde o seu valor monetário é superior.

- **As vantagens destes mecanismos compensam a complexidade, por forma a ser uma solução viável para os consumidores domésticos?**

O mecanismo de créditos de energia implementado no SGCrE, sendo uma solução viável para as comunidades (e, por conseguinte, para os consumidores domésticos pertencentes a estas), apresenta enumeras vantagens para os consumidores: permite usufruir de uma variedade de modelos de mercado em simultâneo, apresenta benefícios económicos (já referidos anteriormente), permite a transação de valor com outras entidades que não a EGAC, entre outros.

Desta forma, acredita-se que compense a complexidade uma vez que simplifica processos que, doutra forma, seriam de mais difícil execução ou até mesmo impossíveis de realizar.

5.3 Verificação dos Objetivos

Semelhante às questões de investigação, foi colocado um conjunto de objetivos a cumprir nesta dissertação. Neste ponto efetua-se uma verificação para constatar se os objetivos definidos foram alcançados.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação possibilitou o alcance de todos os objetivos estabelecidos inicialmente, culminando integralmente nos fundamentos, funcionalidades e operacionalização apresentados no capítulo 3.

A simulação do caso de estudo permitiu a validação do conceito desenhado e definido.

5.4 Trabalho Futuro e Aplicações desta Dissertação

Uma vez ultrapassado o desafio de desenhar e fundamentar um modelo de transação de valor adequado às necessidades de uma CER no contexto atual da evolução do setor elétrico, o próximo desafio será desenvolver uma implementação física, isto é, um *software* funcional, do Sistema de Gestão de Créditos de Energia.

Para além disso, seria interessante estudar se o SGCrE poderá integrar um módulo novo, um sistema monetário, que facilitasse a troca de créditos por valor monetário e vice-versa.

Outra sugestão de trabalho futuro estaria relacionada com o estudo do balanço entre produção consumo e qual o seu impacto nos mercados de energia, nomeadamente levando à limitação máxima de créditos de um membro ou no estabelecimento de tetos máximos de conversão de créditos por energia num determinado espaço de tempo para não desregular o sistema.

Por último, relativamente às aplicações futuras do trabalho desenvolvido, o produto obtido nesta dissertação é um novo conceito que poderá carecer de mais estudos e regulamentação antes de poder ser adotado em larga escala. No entanto, poderá ser usado noutros países onde a regulamentação relativa às Comunidades de Energia Renovável ainda está indefinida e/ou diferente da existente em Portugal, sendo utilizada como base de teste para novas opções viáveis de mecanismos de transação de valor mais eficazes e adaptáveis aos membros das comunidades do que o apresentado.

Anexo A

Dados Tratados do Caso de Estudo

Consumo

		Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
Hora		Consumo E1	Consumo E2	Consumo E3	Consumo E4	
0		4.629	3.324	3.799	5.936	17.688
1		4.692	3.173	3.437	5.811	17.112
2		4.718	3.150	3.320	5.723	16.911
3		4.660	3.144	3.281	5.723	16.807
4		4.679	3.160	3.290	5.711	16.840
5		4.707	3.325	3.808	5.742	17.582
6		4.939	3.926	5.337	5.782	19.983
7		9.778	4.806	8.741	7.720	31.045
8		14.293	5.757	9.802	8.448	38.300
9		16.595	7.036	10.958	8.085	42.673
10		16.577	6.937	11.530	8.857	43.901
11		16.196	6.380	9.821	8.301	40.698
12		13.845	5.774	8.692	8.063	36.373
13		13.708	4.826	9.423	7.423	35.381
14		13.436	5.224	8.841	7.055	34.556
15		10.141	5.042	6.973	6.409	28.565
16		7.831	4.552	5.490	5.525	23.398
17		7.743	4.182	5.468	5.651	23.044
18		8.592	4.262	6.242	6.954	26.052
19		7.062	4.586	6.689	6.938	25.275
20		5.446	4.080	7.187	6.815	23.528
21		5.251	3.770	7.537	7.091	23.650
22		5.031	3.758	6.138	7.534	22.460
23		4.968	3.681	4.595	7.036	20.281

		Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	
Mês		Consumo E1	Consumo E2	Consumo E3	Consumo E4	Consumo Total
1	Janeiro	9.760	4.342	6.942	6.079	27.123
2	Fevereiro	6.716	3.252	5.156	5.726	20.850
3	Março	6.091	3.339	5.116	5.443	19.990
4	Abril	6.196	2.866	5.147	4.836	19.046
5	Maio	6.166	2.622	4.829	4.759	18.376
6	Junho	5.191	2.408	3.620	4.001	15.220
7	Julho	5.373	2.965	3.375	4.170	15.883
8	Agosto	5.108	3.396	3.507	3.416	15.428
9	Setembro	4.433	2.287	4.054	3.323	14.097
10	Outubro	5.348	3.333	4.939	6.187	19.807
11	Novembro	6.976	3.930	5.241	5.672	21.819
12	Dezembro	8.388	4.248	6.066	5.789	24.491
Total (MWh)		75.747	38.989	57.993	59.401	232.129

Figura A.1: Valores associados ao consumo.

Produção

Hora	Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
	Produção E1	Produção E2	Produção E3	Produção E4	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.015	0.092	0.074	0.064	0.245
6	0.168	0.734	0.949	0.724	2.575
7	0.880	2.959	2.959	2.282	9.079
8	2.190	6.458	5.538	4.674	18.860
9	3.482	10.046	8.025	7.135	28.688
10	4.472	12.806	9.838	9.079	36.193
11	5.063	14.442	10.493	10.124	40.122
12	5.253	14.878	9.933	10.082	40.146
13	5.105	14.459	9.122	9.747	38.433
14	4.516	12.753	7.318	8.380	32.967
15	3.518	9.890	4.927	6.354	24.689
16	2.301	6.242	2.298	3.927	14.768
17	1.092	2.886	0.655	1.721	6.354
18	0.300	0.723	0.221	0.473	1.717
19	0.037	0.084	0.041	0.071	0.232
20	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mês		Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	Produção Total
		Produção E1	Produção E2	Produção E3	Produção E4	
1	Janeiro	0.531	1.847	1.413	1.325	5.116
2	Fevereiro	0.647	1.866	1.288	1.316	5.117
3	Março	1.382	3.940	2.697	2.836	10.856
4	Abril	1.288	3.611	2.343	2.684	9.926
5	Maio	1.657	4.573	2.862	3.514	12.605
6	Junho	1.622	4.475	2.788	3.061	11.946
7	Julho	1.878	5.117	3.248	3.927	14.171
8	Agosto	1.751	4.824	3.191	2.814	12.580
9	Setembro	1.202	3.398	2.276	1.403	8.279
10	Outubro	0.997	2.925	1.977	2.064	7.962
11	Novembro	0.521	1.612	1.166	1.148	4.447
12	Dezembro	0.404	1.378	0.917	0.962	3.661
Total (MWh)		13.879	39.568	26.166	27.054	106.667

Figura A.2: Valores associados à produção.

Autoconsumida

Hora	Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
	Autoconsumida E1	Autoconsumida E2	Autoconsumida E3	Autoconsumida E4	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.015	0.092	0.074	0.064	0.245
6	0.168	0.733	0.938	0.724	2.564
7	0.880	2.350	2.821	2.266	8.316
8	2.190	4.019	4.243	3.539	13.990
9	3.482	5.328	5.905	4.976	19.690
10	4.460	5.528	6.823	5.703	22.514
11	5.041	5.430	6.425	5.743	22.639
12	4.932	4.986	5.839	5.566	21.324
13	4.989	4.326	6.020	5.203	20.538
14	4.443	4.494	5.137	4.802	18.875
15	3.345	3.867	3.456	3.906	14.574
16	2.197	2.533	1.923	2.444	9.096
17	1.088	1.344	0.655	1.474	4.561
18	0.300	0.601	0.221	0.473	1.594
19	0.037	0.084	0.041	0.071	0.232
20	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mês	Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	Autoconsumida Total
	Autoconsumida E1	Autoconsumida E2	Autoconsumida E3	Autoconsumida E4	
1 Janeiro	0.531	1.325	1.266	1.195	4.317
2 Fevereiro	0.645	1.071	1.024	1.173	3.912
3 Março	1.367	1.633	1.978	1.951	6.928
4 Abril	1.254	1.452	1.714	1.746	6.166
5 Maio	1.597	1.494	1.951	2.054	7.096
6 Junho	1.566	1.408	1.713	1.625	6.312
7 Julho	1.833	1.778	1.836	1.995	7.442
8 Agosto	1.718	1.926	1.810	1.059	6.512
9 Setembro	1.168	1.166	1.624	0.472	4.430
10 Outubro	0.978	1.268	1.491	1.792	5.529
11 Novembro	0.520	1.042	1.006	1.037	3.606
12 Dezembro	0.404	0.966	0.851	0.878	3.098
Total (MWh)	13.580	16.528	18.263	16.976	65.347

Figura A.3: Valores associados ao autoconsumo.

Injetada					
Hora	Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
	Injetada E1	Injetada E2	Injetada E3	Injetada E4	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.001	0.011	0.000	0.012
7	0.000	0.609	0.138	0.016	0.763
8	0.000	2.439	1.295	1.135	4.870
9	0.000	4.718	2.120	2.159	8.998
10	0.011	7.278	3.014	3.375	13.679
11	0.022	9.013	4.068	4.381	17.483
12	0.321	9.892	4.094	4.516	18.822
13	0.116	10.133	3.102	4.544	17.895
14	0.073	8.260	2.181	3.578	14.092
15	0.173	6.022	1.471	2.449	10.115
16	0.105	3.710	0.375	1.483	5.672
17	0.004	1.542	0.001	0.247	1.793
18	0.000	0.123	0.000	0.000	0.123
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mês	Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	Injetada Total
	Injetada E1	Injetada E2	Injetada E3	Injetada E4	
1 Janeiro	0.000	0.523	0.147	0.130	0.799
2 Fevereiro	0.002	0.796	0.264	0.142	1.204
3 Março	0.015	2.308	0.720	0.885	3.928
4 Abril	0.034	2.159	0.629	0.939	3.761
5 Maio	0.060	3.079	0.911	1.460	5.510
6 Junho	0.056	3.067	1.075	1.436	5.634
7 Julho	0.045	3.339	1.413	1.932	6.729
8 Agosto	0.033	2.898	1.381	1.755	6.068
9 Setembro	0.034	2.232	0.652	0.931	3.849
10 Outubro	0.018	1.657	0.486	0.272	2.433
11 Novembro	0.000	0.570	0.160	0.111	0.841
12 Dezembro	0.000	0.413	0.066	0.084	0.563
Total (MWh)	0.298	23.040	7.903	10.078	41.320

Figura A.4: Valores associados à potência e energia injetada.

Consumo Líquido Antes Repartição

Hora	Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
	CL AR E1	CL AR E2	CL AR E3	CL AR E4	
0	4.629	3.324	3.799	5.936	17.688
1	4.692	3.173	3.437	5.811	17.112
2	4.718	3.150	3.320	5.723	16.911
3	4.660	3.144	3.281	5.723	16.807
4	4.679	3.160	3.290	5.711	16.840
5	4.692	3.234	3.733	5.678	17.337
6	4.771	3.193	4.398	5.057	17.419
7	8.898	2.457	5.920	5.454	22.729
8	12.103	1.738	5.559	4.909	24.309
9	13.113	1.708	5.053	3.109	22.983
10	12.116	1.409	4.707	3.153	21.386
11	11.155	0.950	3.396	2.558	18.059
12	8.913	0.788	2.853	2.496	15.050
13	8.720	0.500	3.403	2.220	14.843
14	8.993	0.730	3.704	2.253	15.680
15	6.796	1.174	3.518	2.503	13.991
16	5.634	2.019	3.567	3.081	14.302
17	6.655	2.837	4.814	4.177	18.483
18	8.293	3.662	6.021	6.481	24.457
19	7.025	4.502	6.648	6.867	25.043
20	5.446	4.080	7.187	6.814	23.526
21	5.251	3.770	7.537	7.091	23.650
22	5.031	3.758	6.138	7.534	22.460
23	4.968	3.681	4.595	7.036	20.281

Mês	Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	CL AR Total
	CL AR E1	CL AR E2	CL AR E3	CL AR E4	
1 Janeiro	9.229	3.018	5.676	4.883	22.806
2 Fevereiro	6.071	2.181	4.133	4.553	16.938
3 Março	4.724	1.707	3.139	3.492	13.062
4 Abril	4.943	1.414	3.433	3.090	12.880
5 Maio	4.569	1.128	2.878	2.706	11.281
6 Junho	3.626	0.999	1.906	2.376	8.908
7 Julho	3.540	1.187	1.539	2.175	8.441
8 Agosto	3.390	1.470	1.697	2.358	8.915
9 Setembro	3.266	1.121	2.430	2.851	9.667
10 Outubro	4.370	2.065	3.449	4.394	14.277
11 Novembro	6.455	2.888	4.234	4.635	18.213
12 Dezembro	7.984	3.283	5.216	4.911	21.394
Total (MWh)	62.166	22.461	39.730	42.425	166.782

Figura A.5: Valores associados ao consumo líquido antes da repartição virtual.

Repartição Virtual

Hora	Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
	RepartVirt E1	RepartVirt E2	RepartVirt E3	RepartVirt E4	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.008	0.002	0.000	0.002	0.012
7	0.503	0.001	0.074	0.175	0.752
8	3.064	0.004	0.180	0.196	3.444
9	4.509	0.002	0.361	0.211	5.083
10	4.994	0.008	0.557	0.332	5.891
11	5.153	0.007	0.406	0.335	5.900
12	3.988	0.003	0.453	0.347	4.791
13	4.504	0.001	0.713	0.363	5.581
14	3.750	0.004	0.722	0.300	4.777
15	1.801	0.005	0.476	0.256	2.539
16	0.982	0.008	0.423	0.192	1.606
17	0.619	0.003	0.567	0.162	1.351
18	0.042	0.000	0.039	0.041	0.123
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mês	Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	RepartVirt Total
	RepartVirt E1	RepartVirt E2	RepartVirt E3	RepartVirt E4	
1 Janeiro	0.559	0.003	0.097	0.068	0.728
2 Fevereiro	0.476	0.000	0.086	0.139	0.701
3 Março	1.236	0.001	0.230	0.091	1.558
4 Abril	1.287	0.001	0.246	0.068	1.602
5 Maio	1.740	0.002	0.257	0.049	2.049
6 Junho	1.548	0.001	0.146	0.178	1.873
7 Julho	1.545	0.001	0.071	0.037	1.655
8 Agosto	1.358	0.004	0.060	0.026	1.449
9 Setembro	0.842	0.000	0.218	0.071	1.132
10 Outubro	0.821	0.001	0.209	0.218	1.249
11 Novembro	0.476	0.002	0.098	0.059	0.635
12 Dezembro	0.370	0.002	0.080	0.047	0.499
Total (MWh)	12.259	0.018	1.798	1.053	15.128

Figura A.6: Valores associados à repartição virtual.

Consumo Líquido Depois Repartição

Hora	Edifício 1 (kW)	Edifício 2 (kW)	Edifício 3 (kW)	Edifício 4 (kW)	
	CL DR E1	CL DR E2	CL DR E3	CL DR E4	
0	4.629	3.324	3.799	5.936	17.688
1	4.692	3.173	3.437	5.811	17.112
2	4.718	3.150	3.320	5.723	16.911
3	4.660	3.144	3.281	5.723	16.807
4	4.679	3.160	3.290	5.711	16.840
5	4.692	3.234	3.733	5.678	17.337
6	4.763	3.191	4.398	5.055	17.407
7	8.395	2.456	5.847	5.279	21.976
8	9.039	1.734	5.379	4.713	20.865
9	8.604	1.706	4.692	2.898	17.900
10	7.123	1.401	4.150	2.821	15.495
11	6.002	0.943	2.990	2.224	12.159
12	4.925	0.784	2.400	2.150	10.259
13	4.216	0.499	2.690	1.857	9.262
14	5.243	0.726	2.982	1.953	10.903
15	4.995	1.169	3.041	2.247	11.452
16	4.653	2.011	3.144	2.889	12.696
17	6.036	2.834	4.247	4.015	17.132
18	8.251	3.662	5.982	6.440	24.334
19	7.025	4.502	6.648	6.867	25.043
20	5.446	4.080	7.187	6.814	23.526
21	5.251	3.770	7.537	7.091	23.650
22	5.031	3.758	6.138	7.534	22.460
23	4.968	3.681	4.595	7.036	20.281

Mês	Edifício 1 (MWh)	Edifício 2 (MWh)	Edifício 3 (MWh)	Edifício 4 (MWh)	CL DR Total
	CL DR E1	CL DR E2	CL DR E3	CL DR E4	
1 Janeiro	8.670	3.014	5.579	4.815	22.079
2 Fevereiro	5.595	2.181	4.047	4.415	16.237
3 Março	3.488	1.706	2.909	3.401	11.504
4 Abril	3.656	1.414	3.187	3.022	11.279
5 Maio	2.829	1.126	2.621	2.656	9.232
6 Junho	2.078	0.998	1.761	2.198	7.036
7 Julho	1.994	1.186	1.468	2.139	6.786
8 Agosto	2.032	1.467	1.637	2.331	7.466
9 Setembro	2.423	1.120	2.211	2.780	8.535
10 Outubro	3.548	2.064	3.240	4.176	13.028
11 Novembro	5.979	2.887	4.137	4.576	17.578
12 Dezembro	7.613	3.281	5.136	4.864	20.894
Total (MWh)	49.907	22.443	37.932	41.372	151.654

Figura A.7: Valores associados ao consumo líquido depois da repartição virtual.

Excedente					
Hora	Edifício 1 (kW)		Edifício 2 (kW)		
	Excedente E1	Excedente E2	Excedente E3	Excedente E4	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.006	0.004	0.000	0.010
8	0.000	0.638	0.423	0.365	1.426
9	0.000	1.832	1.043	1.040	3.915
10	0.011	3.835	1.900	2.042	7.788
11	0.022	5.682	2.873	3.006	11.583
12	0.316	6.987	3.183	3.546	14.032
13	0.111	6.580	2.290	3.333	12.314
14	0.070	5.119	1.562	2.564	9.315
15	0.165	4.250	1.188	1.974	7.577
16	0.100	2.544	0.296	1.127	4.066
17	0.003	0.340	0.000	0.099	0.442
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mês	Edifício 1 (MWh)		Edifício 2 (MWh)		Edifício 3 (MWh)		Edifício 4 (MWh)		Excedente Total
	Excedente E1	Excedente E2	Excedente E3	Excedente E4	Excedente E1	Excedente E2	Excedente E3	Excedente E4	
1 Janeiro	0.000	0.037	0.023	0.013					0.072
2 Fevereiro	0.002	0.296	0.134	0.072					0.503
3 Março	0.014	1.303	0.479	0.573					2.370
4 Abril	0.033	1.173	0.406	0.548					2.159
5 Maio	0.059	1.863	0.603	0.936					3.461
6 Junho	0.054	1.946	0.732	1.029					3.762
7 Julho	0.045	2.466	1.074	1.490					5.074
8 Agosto	0.033	2.193	1.046	1.347					4.619
9 Setembro	0.033	1.512	0.486	0.687					2.718
10 Outubro	0.016	0.723	0.280	0.165					1.184
11 Novembro	0.000	0.117	0.057	0.033					0.207
12 Dezembro	0.000	0.039	0.014	0.010					0.064
Total (MWh)	0.288	13.668	5.334	6.902					26.192

Figura A.8: Valores associados ao excedente.

Fluxos de Energia Repartida

Fluxos Destino E1				Fluxos Destino E3			
Mês	E2E1	E3E1	E4E1	Mês	E1E3	E2E3	E4E3
1 Janeiro	0.347	0.109	0.103	1 Janeiro	0.000	0.084	0.013
2 Fevereiro	0.315	0.100	0.060	2 Fevereiro	0.000	0.076	0.010
3 Março	0.748	0.223	0.265	3 Março	0.001	0.183	0.047
4 Abril	0.744	0.212	0.331	4 Abril	0.001	0.186	0.060
5 Maio	0.980	0.301	0.459	5 Maio	0.001	0.192	0.064
6 Junho	0.865	0.302	0.381	6 Junho	0.001	0.120	0.025
7 Julho	0.785	0.333	0.427	7 Julho	0.000	0.057	0.014
8 Agosto	0.644	0.328	0.386	8 Agosto	0.000	0.041	0.020
9 Setembro	0.494	0.152	0.195	9 Setembro	0.001	0.168	0.049
10 Outubro	0.570	0.164	0.087	10 Outubro	0.001	0.188	0.020
11 Novembro	0.320	0.090	0.066	11 Novembro	0.000	0.086	0.012
12 Dezembro	0.267	0.045	0.058	12 Dezembro	0.000	0.065	0.014
Total (MWh)	7.078	2.361	2.820	Total (MWh)	0.006	1.444	0.348
Total (MWh)			12.259	Total (MWh)			1.798

Fluxos Destino E2				Fluxos Destino E4			
Mês	E1E2	E3E2	E4E2	Mês	E1E4	E2E4	E3E4
1 Janeiro	0.000	0.002	0.001	1 Janeiro	0.000	0.055	0.013
2 Fevereiro	0.000	0.000	0.000	2 Fevereiro	0.000	0.109	0.029
3 Março	0.000	0.000	0.000	3 Março	0.000	0.074	0.017
4 Abril	0.000	0.000	0.000	4 Abril	0.001	0.057	0.010
5 Maio	0.000	0.002	0.001	5 Maio	0.000	0.044	0.005
6 Junho	0.000	0.001	0.000	6 Junho	0.001	0.136	0.041
7 Julho	0.000	0.000	0.001	7 Julho	0.000	0.031	0.005
8 Agosto	0.000	0.001	0.003	8 Agosto	0.000	0.021	0.006
9 Setembro	0.000	0.000	0.000	9 Setembro	0.000	0.058	0.013
10 Outubro	0.000	0.001	0.000	10 Outubro	0.001	0.177	0.041
11 Novembro	0.000	0.001	0.000	11 Novembro	0.000	0.048	0.011
12 Dezembro	0.000	0.000	0.001	12 Dezembro	0.000	0.041	0.007
Total (MWh)	0.000	0.009	0.009	Total (MWh)	0.004	0.850	0.199
Total (MWh)			0.018	Total (MWh)			1.053

Figura A.9: Valores associados aos fluxos de energia repartida.

Anexo B

Registo de Transações

Tabela B.1: Registos de créditos associados à liquidação mensal. Todos os valores apresentados estão em CrE.

Data	origin	destiny	value	type
2020-09-30 23:45	CP1	EGAC	30,83	EOM
2020-09-30 23:45	I2	EGAC	-140,50	EOM
2020-09-30 23:45	C2	EGAC	42,00	EOM
2020-09-30 23:45	C3	EGAC	70,69	EOM
2020-09-30 23:45	C4	EGAC	80,53	EOM
2020-10-31 23:45	CP1	EGAC	803,28	EOM
2020-10-31 23:45	I2	EGAC	-2625,10	EOM
2020-10-31 23:45	C2	EGAC	1168,48	EOM
2020-10-31 23:45	C3	EGAC	649,47	EOM
2020-10-31 23:45	C4	EGAC	1760,67	EOM
2020-11-30 23:45	CP1	EGAC	476,21	EOM
2020-11-30 23:45	I2	EGAC	-1312,30	EOM
2020-11-30 23:45	C2	EGAC	943,47	EOM
2020-11-30 23:45	C3	EGAC	53,86	EOM
2020-11-30 23:45	C4	EGAC	846,36	EOM
2020-12-31 23:45	CP1	EGAC	370,47	EOM
2020-12-31 23:45	I2	EGAC	-1078,45	EOM
2020-12-31 23:45	C2	EGAC	867,55	EOM
2020-12-31 23:45	C4	EGAC	674,89	EOM
2021-01-31 23:45	CP1	EGAC	559,27	EOM
2021-01-31 23:45	I2	EGAC	-1547,35	EOM
2021-01-31 23:45	C2	EGAC	1227,91	EOM
2021-01-31 23:45	C3	EGAC	193,05	EOM
2021-01-31 23:45	C4	EGAC	1013,81	EOM
2021-02-28 23:45	CP1	EGAC	473,96	EOM
2021-02-28 23:45	I2	EGAC	-1566,45	EOM

2021-02-28 23:45	C2	EGAC	971,03	EOM
2021-02-28 23:45	C3	EGAC	59,74	EOM
2021-02-28 23:45	C4	EGAC	1061,77	EOM
2021-03-31 23:45	CP1	EGAC	1221,20	EOM
2021-03-31 23:45	I2	EGAC	-3640,20	EOM
2021-03-31 23:45	C2	EGAC	1533,43	EOM
2021-03-31 23:45	C3	EGAC	1157,17	EOM
2021-03-31 23:45	C4	EGAC	1792,25	EOM
2021-04-30 23:45	CP1	EGAC	1252,42	EOM
2021-04-30 23:45	I2	EGAC	-3310,80	EOM
2021-04-30 23:45	C2	EGAC	1352,65	EOM
2021-04-30 23:45	C3	EGAC	910,34	EOM
2021-04-30 23:45	C4	EGAC	1563,59	EOM
2021-05-31 23:45	CP1	EGAC	1679,78	EOM
2021-05-31 23:45	I2	EGAC	-4272,80	EOM
2021-05-31 23:45	C2	EGAC	1396,28	EOM
2021-05-31 23:45	C3	EGAC	1158,43	EOM
2021-05-31 23:45	C4	EGAC	1852,96	EOM
2021-06-30 23:45	CP1	EGAC	1491,31	EOM
2021-06-30 23:45	I2	EGAC	-4175,05	EOM
2021-06-30 23:45	C2	EGAC	1309,18	EOM
2021-06-30 23:45	C3	EGAC	708,78	EOM
2021-06-30 23:45	C4	EGAC	1453,33	EOM
2021-07-31 23:45	CP1	EGAC	1500,13	EOM
2021-07-31 23:45	I2	EGAC	-4817,35	EOM
2021-07-31 23:45	C2	EGAC	1679,52	EOM
2021-07-31 23:45	C3	EGAC	857,12	EOM
2021-07-31 23:45	C4	EGAC	1781,78	EOM
2021-08-31 23:45	CP1	EGAC	1325,23	EOM
2021-08-31 23:45	I2	EGAC	-4424,00	EOM
2021-08-31 23:45	C2	EGAC	1829,73	EOM
2021-08-31 23:45	C3	EGAC	720,09	EOM
2021-08-31 23:45	C4	EGAC	835,05	EOM
2021-09-29 23:00	CP1	EGAC	776,89	EOM
2021-09-29 23:00	I2	EGAC	-2957,3	EOM
2021-09-29 23:00	C2	EGAC	1024,41	EOM
2021-09-29 23:00	C3	EGAC	721,99	EOM
2021-09-29 23:00	C4	EGAC	212,01	EOM

Referências

- [1] J. Cunha. Gestão de resposta dinâmica de consumo em comunidades de energias renováveis. Tese de mestrado, FEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021. URL: <https://hdl.handle.net/10216/136019>.
- [2] J. Duarte. Gestão de repartição e transação de valor em comunidades de energia renovável. Tese de mestrado, FEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021. URL: <https://hdl.handle.net/10216/135197>.
- [3] PARLAMENTO EUROPEU E O CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Diretiva (ue) 2018/2001 do parlamento europeu e do conselho de 11 de dezembro de 2018 relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis. Jornal Oficial da União Europeia, 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=PT>.
- [4] Conselho de Ministros de Portugal. Resolução do conselho de ministros n.º 53/2020. Diário da República, 1.ª série, N.º 132, de 10 de julho de 2020, 2020. URL: <https://data.dre.pt/eli/resolconsmin/53/2020/07/10/p/dre/pt/html>.
- [5] M. Prado. Governo revê plano nacional de energia e clima: meta de eletricidade renovável em 2030 sobe para 85 *Expresso*, 2023. Acesso em: 30 de junho de 2023. URL: <https://bit.ly/expresso-noticia-2023-06-30-Governo-reve-PNEC>.
- [6] Governo de Portugal. Decreto-lei n.º 162/2019. Diário da República, 1.ª série, N.º 206, de 25 de outubro de 2019, 2019. URL: <https://files.dre.pt/ls/2019/10/20600/0004500062.pdf>.
- [7] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Decreto-lei n.º 153/2014. Diário da República, 1.ª série, N.º 202, de 20 de outubro de 2014, 2014. URL: <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/153/2014/10/20/p/dre/pt/html>.
- [8] Governo de Portugal. Regulamento n.º 266/2020. Diário da República, 2.ª série, N.º 57, de 20 de março de 2020, 2020. URL: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/regulamento/266-2020-130469272>.
- [9] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Consulta pública n.º 93. ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2021. URL: https://www.erse.pt/media/usslrmrhb/cp93_ade_porto_lisboaenova.pdf.
- [10] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Regulamento n.º 373/2021. Diário da República, 2.ª série, N.º 85, de 5 de maio de 2021, 2021. URL: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/regulamento/373-2021-162753427>.

- [11] PARLAMENTO EUROPEU E O CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. 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. Jornal Oficial da União Europeia, 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=ES>.
- [12] Governo de Portugal. Decreto-lei n.º 15/2022. Diário da República, 1.ª série, N.º 10, de 14 de janeiro de 2022, 2022. URL: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/15-2022-177634016>.
- [13] ADENE e DGEG. Adene e dgeg elaboram manual digital “autoconsumo e comunidade de energia renovável – guia legislativo”, 2022. Acesso em: 10 de março de 2023. URL: <https://bit.ly/ADENE-guia-legislativo>.
- [14] Governo de Portugal. Decreto-lei n.º 30-a/2022. Diário da República, 1.ª série, N.º 44, Suplemento, de 3 de março de 2022, 2022. URL: <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/30-a/2022/04/18/p/dre/pt/html>.
- [15] Governo de Portugal. Decreto-lei n.º 72/2022. Diário da República, 1.ª série, N.º 202, de 19 de outubro de 2022, 2022. URL: <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/72/2022/10/19/p/dre/pt/html>.
- [16] ADENE e DGEG. Autoconsumo individual, 2023. Acesso em: 10 de março de 2023. URL: https://poupaenergia.pt/app/uploads/2023/07/Guia-II-Capitulo-I-ADENE_DGEG-2.pdf.
- [17] L. Carvalho. Gestão e operação de comunidades de energias renováveis com integração de baterias. Tese de mestrado, FEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022. URL: <https://hdl.handle.net/10216/140745>.
- [18] H. Miranda. Comunidade de energia renovável - natureza e estruturação jurídico privadas. Tese de mestrado, FDUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021. URL: <https://hdl.handle.net/10216/138742>.
- [19] I. et al Reis. Business models for energy communities: A review of key issues and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 2021.
- [20] Cláudio Monteiro. Métodos transacionais, 2023. (Comunicação Privada).
- [21] Marios Stanitsas e Konstantinos Kirytopoulos. Sustainable energy strategies for power purchase agreements (ppas). *Sustainability*, 15(8), 2023. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/8/6638>.
- [22] Daniel Drescher. *Blockchain Basics: A Non-Technical Introduction in 25 Steps*. Apress, 2017.
- [23] What is iot? Oracle. Accessed on: Insert Access Date. URL: <https://www.oracle.com/pt/internet-of-things/what-is-iot/#:~:text=What%20is%20IoT%3F,and%20systems%20over%20the%20internet>.
- [24] J. Leite, H. e Peças Lopes. Monitoring and control technology. PowerPoint presentation.
- [25] A. Silva. Net-metering: como é feita a gestão da energia dos painéis. URL: <https://goldenergy.pt/blog/autoconsumo/net-metering-gestao-da-energia-paineis-solares/>.