



# ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA TRANSITIVA NUMA COMUNIDADE DE ENERGIA

**VERÍSSIMO BALDÉ GOMES DA SILVA**

novembro de 2022

# **ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA TRANSATIVA NUMA COMUNIDADE DE ENERGIA**

Veríssimo Baldé Gomes da Silva

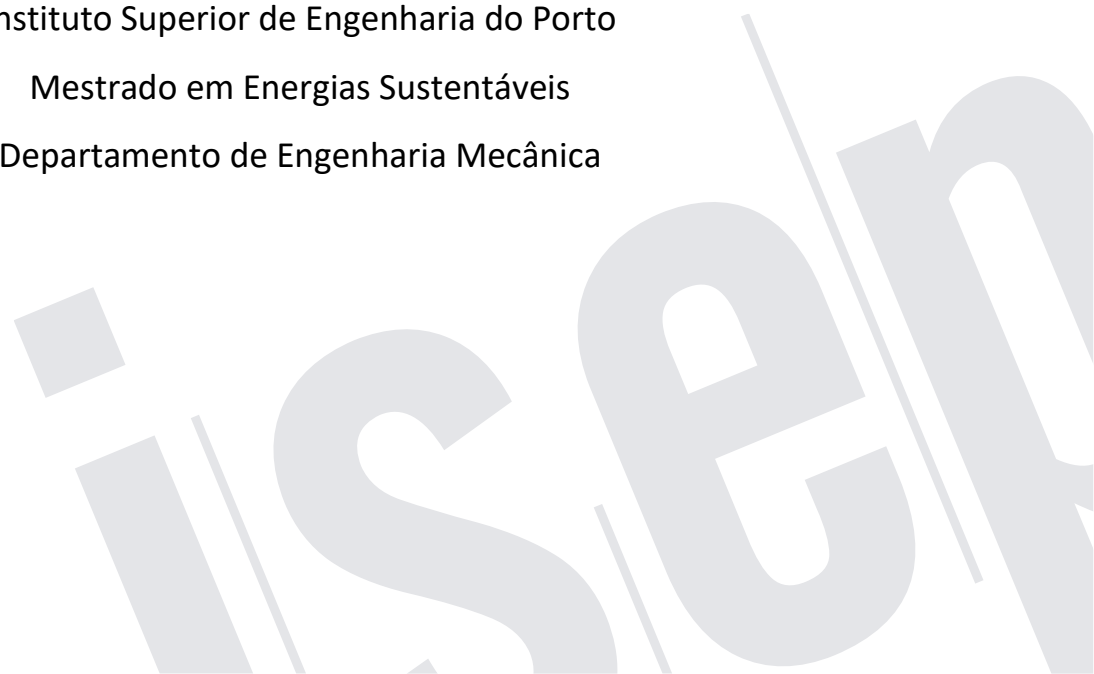
Nº1181283

**2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestrado em Energias Sustentáveis

Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

## **ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA TRANSATIVA NUMA COMUNIDADE DE ENERGIA**

Veríssimo Baldé Gomes da Silva  
1181283

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto  
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de  
Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação da Professora  
Doutora Zita Vale (ZAV) e sob a coorientação do Investigador Doutor Luís  
Gomes (LFG)

**2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



# JÚRI

## **Presidente**

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras  
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

## **Orientador**

Doutora Zita Maria Almeida Vale  
Professora Coordenadora Principal do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

## **Coorientador**

Doutor Luís Filipe Oliveira Gomes  
Investigador Doutorado no GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento)

## **Arguente**

Doutor Tiago Manuel Campelos Ferreira Pinto  
Professor Assistente na UTAD (Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro)



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de tecer os meus agradecimentos à minha orientadora, Prof. Doutora Zita Vale e ao Coorientador Doutor Luís Gomes, pelo excelente auxílio prestado durante o trabalho desenvolvido nesta dissertação, por meio do esclarecimento das dúvidas e pelas ideias sugeridas para elaboração desta dissertação de forma a alcançar os objetivos proposto.

Ao Centro de Investigação GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento) por ter disponibilizado o material científico que serviu de base para a elaboração desta dissertação e por prestar o apoio necessário para o término da mesma.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) por me ter acolhido e ter proporcionado as melhores condições durante percurso académico, assim como a todos os docentes que me acompanharam, que através da partilha dos seus conhecimentos contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual e pessoal.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para esta jornada, com o apoio, motivação, incentivo e companheirismo em fases menos boas, que me permitiram concluir esta etapa com o máximo esforço e dedicação, que culminou com a conclusão deste trabalho tão enriquecedor.

Um muito obrigado a todos os intervenientes desta conquista.



## RESUMO

O sistema de energia elétrica tem vindo a alterar-se significativamente nos últimos anos, apresentando atualmente uma componente significativa de produção através de fontes de energias renováveis e também de geração distribuída, correspondente a instalações com baixa potência instalada geograficamente distribuídas, por oposição às centrais de produção convencionais. Contudo, a falta de coordenação entre o consumo e a produção de origem renovável, como o sol e o vento, põem em causa o bom funcionamento da rede elétrica. As redes elétricas inteligentes aparecem como uma solução adequada para os problemas apresentados pela rede elétrica tradicional, uma vez que a fiabilidade, segurança e flexibilidade são as características deste tipo de rede elétricas.

De forma a garantir o equilíbrio da produção e do consumo é necessário fazer uma adaptação dos perfis de consumo aos perfis de produção. Esta pode ser feita através da redução dos consumos em certos períodos, ou da transferência de parte do consumo para períodos mais adequados, ou promovendo o aumento do consumo em períodos que a produção a partir de fontes renováveis exceda o consumo total previsto.

Esta dissertação apresenta um estudo sobre a gestão da energia elétrica dos consumidores finais através da sua produção de energias renováveis. São abordados temas como a Gestão no Lado da Procura (GLP) e Resposta à Procura (RP) de energia elétrica, assim como mercados de energia par a par.

Como resultado do estudo sobre redes inteligentes, é implementado a Energia Transativa (ET) num simulador já existente, onde os consumidores finais têm um papel interventivo no sistema elétrico. Estes têm a capacidade de negociação da energia produzida em excedente em cada período, entre os consumidores mais próximos e posteriormente no mercado retalhista, de acordo com uma tarifa de eletricidade horária.

Neste sentido, são realizados três casos de estudo, onde será comparado o impacto económico da funcionalidade da energia transativa na rede inteligente, em detrimento do sistema de energia elétrico tradicional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Transativa (ET); Gestão no Lado da Procura (GLP); Rede Inteligente (RI); Resposta à Procura (RP).

## ABSTRACT

The electrical energy system has been changing significantly in recent years, currently presenting a significant component of production through renewable energy sources, and distributed generation, corresponding to installations with low installed power geographically distributed, as opposed to conventional production plants.

However, the lack of coordination between consumption and production from renewable sources, such as the sun and wind, jeopardizes the proper functioning of the electricity grid. Smart grids appear as an adequate solution to the problems presented by the traditional grid, since reliability, security and flexibility are the characteristics of this type of grid.

To guarantee the balance of production and consumption, it is necessary to adapt the profiles to the production profiles. This can be done by reducing consumption in certain periods or transferring part of the consumption to more suitable periods or promoting an increase in consumption in periods when production from renewable sources exceeds the total predicted consumption.

This dissertation will present a study on the management of electrical energy of end consumers through their production of renewable energy. Topics such as Demand Side Management (DSM) and Demand Response (DR) for electricity will be addressed, as well as peer-to-peer energy markets.

As a result of the study on smart grids, Transactive Energy (TE) will be implemented in an existing simulator, where end consumers have an interventional role in the electrical system. These can negotiate the energy produced in excess in each period, between the nearest consumers and later in the retail market, according to an hourly electricity tariff.

In this sense, three case studies will be conducted, where the economic impact of the functionality of transactive energy in the smart grid will be compared, to the detriment of the traditional electric energy system.

**KEYWORDS:** *Demand Response (DR); Demand Side Management (DSM); Smart Grid (SG); Transactive Energy (TE);*



## LISTA DE ACRÓNIMOS

### Lista de Acrónimos

<b>AEA</b>	Agência Europeia do Ambiente
<b>APREN</b>	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
<b>CDC</b>	Controlo Direto da Carga
<b>CI</b>	Carga Interrompível
<b>CR</b>	Consumidor Residencial
<b>CRg</b>	Carga Restringível
<b>CS</b>	Consumidor de Serviços
<b>ET</b>	Energia Transativa
<b>FER</b>	Fontes de Energias Renováveis
<b>GC</b>	Gestor da Comunidade
<b>GD</b>	Geração Distribuída ou Descentralizada
<b>GEE</b>	Gases com Efeito Estufa
<b>GLP</b>	Gestão no Lado da Procura
<b>OSD</b>	Operador do Sistema de Distribuição
<b>OST</b>	Operador do Sistema de Transmissão
<b>PCP</b>	Preço Crítico de Pico
<b>PDE</b>	Preço em Dias Extremos
<b>PMP</b>	Potência Máxima de Pico
<b>PNEC</b>	Plano Nacional de Energia e Clima
<b>PTR</b>	Preço em Tempo Real
<b>RCP</b>	Resposta Comportamental à Procura
<b>RCPr</b>	Redução de Carga Programada
<b>RED</b>	Recursos Energéticos Distribuídos
<b>REP</b>	Resposta de Emergência à Procura
<b>RI</b>	Rede Inteligente
<b>RP</b>	Resposta à Procura
<b>RTP</b>	Redução do Tempo de Pico

---

<b>SIR</b>	Serviço Interrompível/Restringível
<b>TBI</b>	Taxa de Bloco Inclinado
<b>TU</b>	Tempo de Uso
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UPAC</b>	Unidade de Produção para Autoconsumo
<b>UPP</b>	Unidade de Pequena Produção
<b>VE</b>	Veículos Elétricos

---

## LISTA DE UNIDADES

### Lista de Unidades

---

<b>h</b>	Hora
<b>kVA</b>	Quilovolt-ampere
<b>kW</b>	Quilowatt
<b>kWh</b>	Quilowatt Hora
<b>W</b>	Watt

---

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Enquadramento Geral.....	1
1.2	Objetivos da Dissertação.....	3
1.3	Estrutura da Dissertação .....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Transição do Setor Elétrico .....	7
2.2	Panorama do Setor Elétrico e Geração Distribuída .....	13
2.3	Redes Inteligentes.....	14
2.3.1	Novo Paradigma da Rede Inteligente .....	14
2.3.2	Energia Transativa .....	19
2.3.3	Mercados de Energia Transativa Par a Par .....	21
2.4	Gestão de Energia Elétrica .....	25
2.4.1	Gestão no Lado da Procura (GLP).....	26
2.4.2	Resposta à Procura (RP) .....	29
3	SIMULADOR DOS CONSUMIDORES FINAIS NA REDE ELÉTRICA COM ENERGIA TRANSATIVA.....	39
3.1	Descrição das Novas Funcionalidades Implementadas no Simulador .....	40
3.2	Metodologia da Implementação das Novas Funcionalidades no Simulador .....	42
3.2.1	Implementação e Processamento do Simulador .....	43
3.2.2	Descrição dos Datasets.....	45
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS CASOS DE ESTUDO .....	51
4.1	Descrição dos Sistemas de Rede Elétrica e dos Casos de Estudo .....	51
4.2	Análise e Comparação dos Resultados dos Casos de Estudo.....	56
4.2.1	Caso de Estudo 1 – Com Autoconsumo.....	56
4.2.2	Caso de Estudo 2 – Apenas Autoconsumo na Comunidade.....	58
4.2.3	Caso de Estudo 3 – Com Maior Preponderância Solar .....	60
4.3	Discussão dos Resultados.....	62

---

5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	67
5.1	Conclusões .....	67
5.2	Sugestões de Trabalhos Futuros .....	69
6	BIBLIOGRAFIA.....	73
7	ANEXO.....	81
7.1	Anexo 1 – Tarifas de acesso à rede de Eletricidade (EDP Comercial) .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - METAS PARA O CUMPRIMENTO DA TEMPERATURA GLOBAL DEFINIDAS NO ACORDO DE PARIS 2015 ( BLACK , PARRY, ROAF, & ZHUNUSSOVA, 2021)	8
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 AO LONGO DOS ANOS ENTRE 1900-2021 (IEA, 2022)	9
FIGURA 3 - CRESCIMENTO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL ENTRE 2019 E 2021 (IEA, 2022)	11
FIGURA 4 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO ELÉTRICA EM PORTUGAL (APREN, 2021)	12
FIGURA 5- ESTRUTURA DE UMA REDE INTELIGENTE "SMART GRID" (IEEE INNOVATION AT WORK, 2021)	16
FIGURA 6 - MERCADO ENERGÉTICO NO ÂMBITO DA ENERGIA TRANSATIVA (ABRISHAMBAF, LEZAMA , FARIA, & VALE, 2019)	20
FIGURA 8 - MERCADO BASEADO NA COMUNIDADE PAR A PAR (HUANG, ET AL., 2021)	24
FIGURA 7 - MERCADO INTEGRADO PAR A PAR (HUANG, ET AL., 2021)	24
FIGURA 9 - MERCADO HÍBRIDO PAR A PAR (HUANG, ET AL., 2021)	24
FIGURA 10 - <i>GESTÃO NO LADO DA PROCURA</i> - CONFIGURAÇÃO DA CARGA (LONGE, RIMER, OUAHADA, & FERREIRA, 2015)	28
FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROGRAMAS RP (HONARMAND, 2021) (VALE , GOMES , PEREIRA, FAIA, & FARIA , 2022)	31
FIGURA 12 - BENEFÍCIOS DOS PROGRAMAS RP (HONARMAND, 2021)	35
FIGURA 13 - IMPLEMENTAÇÃO DA ENERGIA TRANSATIVA NO SIMULADOR	43
FIGURA 14 - PROCESSAMENTO DE DADOS DO SIMULADOR	44
FIGURA 15 - PERFIL DE CONSUMO E GERAÇÃO SOLAR DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS E DE SERVIÇOS	47
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE TRANSAÇÕES DE ENERGIA NA REDE ELÉTRICA INTELIGENTE	51
FIGURA 17 – DIAGRAMA DE TRANSAÇÕES ELÉTRICAS NA REDE ELÉTRICA TRADICIONAL	51
FIGURA 18 - PERFIL DE CONSUMO E GERAÇÃO GLOBAL	55
FIGURA 19 - BALANÇO DA REDE ELÉTRICA SEM ENERGIA TRANSATIVA - CASO DE ESTUDO 1	56
FIGURA 20 - BALANÇO DA REDE ELÉTRICA COM ENERGIA TRANSATIVA - CASO DE ESTUDO 1	57
FIGURA 21 - BALANÇO DA REDE ELÉTRICA SEM ENERGIA TRANSATIVA - CASO DE ESTUDO 2	58
FIGURA 22 - BALANÇO DA REDE ELÉTRICA COM ENERGIA TRANSATIVA - CASO DE ESTUDO 2	59
FIGURA 23 - BALANÇO DA REDE ELÉTRICA SEM ENERGIA TRANSATIVA - CASO DE ESTUDO 3	61
FIGURA 24 - BALANÇO DA REDE ELÉTRICA COM ENERGIA TRANSATIVA - CASO DE ESTUDO 3	61



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - REDE INTELIGENTE VS REDE ELÉTRICA TRADICIONAL (FATHY, 2019) .....	17
TABELA 2 - MODELOS DE SIMULAÇÃO (GOMES L. , 2020) .....	41
TABELA 3 - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO - CASO DE ESTUDO 1 .....	52
TABELA 4 - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO - CASO DE ESTUDO 2 .....	53
TABELA 5 - PANORAMAS DE CONSUMO E GERAÇÃO.....	54
TABELA 6 - RESUMO DO CASO DE ESTUDO 1 - COM AUTOCONSUMO .....	62
TABELA 7 - RESUMO DO CASO DE ESTUDO 2 - APENAS COM AUTOCONSUMO NA COMUNIDADE .....	63
TABELA 8 - RESUMO DE CASO DE ESTUDO 3 - COM MAIOR PREPONDERÂNCIA SOLAR.....	63



# 1. INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento Geral
- 1.2 Objetivos da Dissertação
- 1.3 Estrutura da Dissertação

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento Geral

A sociedade atual evoluiu de forma acelerada após a descoberta da eletricidade, que por sua vez tornou mais fáceis e acessíveis as informações, comunicações, mobilidade e automações (Andrade, 2019). A descoberta da eletricidade permitiu evoluir e abrir horizontes no desenvolvimento de novas tecnologias de geração de energia, principalmente compostas por fontes renováveis, que têm desencadeado progressos significativos em soluções sustentáveis futuras para sistemas de energia elétrica.

As infraestruturas de geração de energia elétrica com dependência em combustíveis fósseis tem sido a matriz energética principal, maioritariamente dependente do petróleo e carvão (Felgueiras, Martins, & Smitková, 2018). Deste modo, foi necessário repensar a matriz energética devido à finitude destes recursos, sendo que o seu processo de transformação é responsável pela elevada emissão de gases com efeito estufa (GEE). Cerca de 75-80% do consumo total de energia é consumida nas cidades, sendo estas responsáveis por 80% das emissões de GEE (Butt, Zulqarnain, & Butt, 2020). Estes, influenciam não só a saúde humana como comprometem os vários ecossistemas naturais.

No contexto de satisfazer as necessidades da elevada procura de energia elétrica e a preocupação ambiental da redução de emissão dos gases com efeito estufa, é necessário e indispensável priorizar as fontes primárias de energias renováveis, que recorrem a recursos inesgotáveis para a geração de energia (Andrade, 2019). As limitações na capacidade de armazenamento de energia e a imprevisibilidade da rede elétrica, motivam a que a gestão de energia elétrica no lado da procura seja uma alternativa viável e futura.

Segundo (Abrishambaf, Lezama, Faria, & Vale, 2019), irá ocorrer um aumento significativo na produção elétrica através de fontes de energia renovável, e é esperado um aumento nos anos que virão até cerca de 30% até 2022 e até 60% até 2050.

A abordagem hierárquica no controlo central das redes de distribuição de energia existentes tem evoluído no sentido de um paradigma de rede de energia inteligente, em que os picos imprevistos da produção local de energia distribuída e a incerteza das

energias renováveis podem ser geridos de forma adequada (Abrishambaf, Lezama , Faria, & Vale, 2019).

Uma das soluções passa pela transformação de pequenas redes “domésticas” em sistemas de produção elétrica inteligentes (em detrimento das redes elétricas tradicionais), que permitem aumentar a integração de Fontes de Energias Renováveis (FER) na matriz energética global (Dionysios Pramangioulis, 2019).

Esta tecnologia pode ser aplicada a diversos níveis; a nível de um edifício (edifícios com rede zero ou mesmo de energia positiva), ou a um conjunto de edifícios de uma determinada região (microrredes inteligentes) (Dionysios Pramangioulis, 2019). Uma ilha pode servir como um exemplo representativo útil do funcionamento das microrredes inteligentes, uma vez que compartilha características e necessidades comuns de qualquer microrrede inteligente.

As redes inteligentes fornecem uma base para a implementação de sistemas de Energia Transativa (ET) a partir da Geração Distribuída (GD). Esta possibilita que os consumidores finais e os produtores de energia elétrica para autoconsumo façam parte do mercado de energia, e desta forma possam negociar o preço da eletricidade de acordo com as suas necessidades energéticas (Abrishambaf, Lezama , Faria, & Vale, 2019).

Nesta dissertação são analisados e desenvolvidos conceitos de GD como as Redes Inteligentes (RI) e microrredes. São estudados sistemas de ET e mercados de energia P2P com recurso a energias alternativas como as FER, assim como políticas e técnicas de gestão da energia elétrica.

Por meio de um já simulador existente aperfeiçoado, é realizada uma análise económica do impacto do uso de energia transativa com o recurso a energias alternativas, como a energia proveniente da produção solar fotovoltaica através de dados de consumo e produção de vários consumidores do tipo residencial e de serviços. Estes sistemas, incentivam o uso de um sistema de gestão de energia elétrica que otimize os consumos de energia através dos preços de aquisição.

## 1.2 Objetivos da Dissertação

Nesta dissertação é descrito um sistema de geração distribuída com energia transativa e incorporação de energias renováveis, ou seja, um sistema energia elétrica inteligente que permite a participação dos consumidores finais no mercado de energia através das transações energéticas, que por sua vez permite a negociação de energia entre eles.

Neste contexto, com o recurso a um simulador já existente desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado (Gomes L. , Perceção do utilizador final de energia sobre redes inteligentes e a sua participação ativa, 2020) é realizada uma melhoria. O melhoramento neste simulador consiste no acrescento da capacidade de transação de energia produzida em excesso pelos utilizadores finais, negociando diretamente entre os utilizadores mais próximos, tendo em conta os vários cenários de simulação considerados, permitindo assim uma participação mais ativa no mercado energético.

Desta forma possibilita a análise do impacto da energia transativa com recurso a energias renováveis, tais como a energia fotovoltaica, aliado da execução de políticas de redução de consumo por parte dos utilizadores, que por sua vez garante a flexibilidade e fiabilidade do sistema de energia para um funcionamento ótimo através do equilíbrio entre os perfis de produção e de consumo dos utilizadores.

Os objetivos para a elaboração desta dissertação são os seguintes:

- **OBJ1:** Pesquisar o estado atual da arte com recurso a informações credíveis presentes em artigos científicos;
- **OBJ2:** Coletar um conjunto de dados que contemplem informação de perfis de consumidores do tipo residencial e de serviços, e perfis de geração fotovoltaica;
- **OBJ3:** Analisar o conjunto de dados selecionados;
- **OBJ4:** Executar o simulador já existente para compreender as suas funcionalidades e cenários de simulação;
- **OBJ5:** Desenvolver o melhoramento do simulador existente capaz de executar as transações energéticas entre os consumidores finais, para os diversos cenários de simulação;
- **OBJ6:** Definir os casos de estudo relevantes para análise do comportamento dos consumidores finais com capacidade de transacionar energia entre si;

### 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

No capítulo 1 é efetuado um enquadramento geral do tema e a justificação da escolha do tema, assim como a descrição dos objetivos e metodologias a adotar na elaboração do presente trabalho.

No capítulo 2 encontra-se descrita uma breve revisão dos temas que servem de base para a resolução dos problemas deste trabalho. São abordados temas como a estrutura do sistema elétrico e a sua transição energética, passando pela geração distribuída, conceitos enquadrados com o tema das redes inteligentes, assim como as noções de energia transativa e os mercados de energia, terminado com políticas e técnicas de gestão de cargas nos perfis de cada consumidor.

No capítulo 3 está descrito o funcionamento do simulador já existente e as melhorias implementadas, a descrição do conjunto de dados selecionados, e ainda as considerações para a implementação do simulador melhorado, tais como condições funcionais e não funcionais, e os modelos de simulação considerados.

No capítulo 4 é realizada uma análise e discussão dos resultados obtidos face ao trabalho desenvolvido e às simulações executadas, assim como os casos de estudo definidos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões referentes ao estudo desenvolvido e as perspetivas de futuros trabalhos a realizar.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Transição do Setor Elétrico
- 2.2 Panorama do Setor Elétrico e Geração Distribuída
- 2.3 Redes Inteligentes
- 2.4 Gestão de Energia Elétrica



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Transição do Setor Elétrico

No final do século XX, com a verificação dos impactos negativos causados no ambiente pelo uso excessivo dos combustíveis fósseis para o desenvolvimento social, as entidades internacionais decidiram debater o combate às alterações climáticas através do Protocolo de Quioto (APA - Protocolo de Quioto), que visa solucionar este problema global. Este protocolo foi o primeiro tratado internacional que visa limitar as emissões quantificadas de GEE.

Neste sentido, as entidades europeias estabeleceram políticas ambientais que visam proporcionar aos consumidores da União Europeia (UE) uma energia segura sustentável, competitiva e a preços acessíveis, remodelando assim as políticas europeias no que na energia e no clima dizem respeito.

Estas políticas ambientais têm como finalidade atingir os objetivos propostos até 2030, tais como (Fichas temáticas sobre a União Europeia – Energias Renováveis) (Hafner & Raimondi, 2020):

- A redução de, pelo menos, 40% nas emissões de gases efeito estufa em comparação com os níveis de 1990;
- O aumento para 32% da quota-parte das energias renováveis no consumo de energia;
- Uma melhoria de 32,5% na eficiência energética;
- A interconexão de, pelo menos, 15% das redes elétricas da UE.

Com o intuito da descarbonização das economias mundiais e a contenção do aquecimento global, foi estabelecido em 2015 um novo tratado por parte das entidades internacionais o Acordo de Paris (APA - Acordo de Paris).

Este acordo estabelece como um dos seus objetivos de longo prazo limitar o aumento da temperatura média global a níveis bem abaixo dos 2°C acima dos níveis pré-industriais, e prosseguir esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C, reconhecendo que isso reduzirá significativamente os riscos e impactos das alterações climáticas.

Os estudos desenvolvidos pelos cientistas climáticos concluíram que para evitar um aumento da temperatura média global superior a 2 °C sobre os níveis pré-industriais, valores definidos como máximo para garantir a continuação de vida no planeta sem alterações disruptivas, a sociedade humana precisa de reduzir a eletricidade oriunda da queima de combustíveis fósseis de 70% (em 2010) para menos de 20% até 2050 (Hirsch, Parag, & Guerrero, 2018).

De acordo com a nota climática do corpo técnico do Fundo Monetário Internacional (IMF, da sigla e inglês), mostra que políticas globais inalteradas poderão resultar em níveis de emissões de carbono em 2030 muito superiores ao que é preciso para “manter viva a meta de 1,5°C” ( Black , Parry, Roaf, & Zhunussova, 2021). Cumprir essa meta exige um corte de 55% das emissões em relação aos níveis de referência até 2030, ou um corte de 30% para cumprir a meta de 2°C.

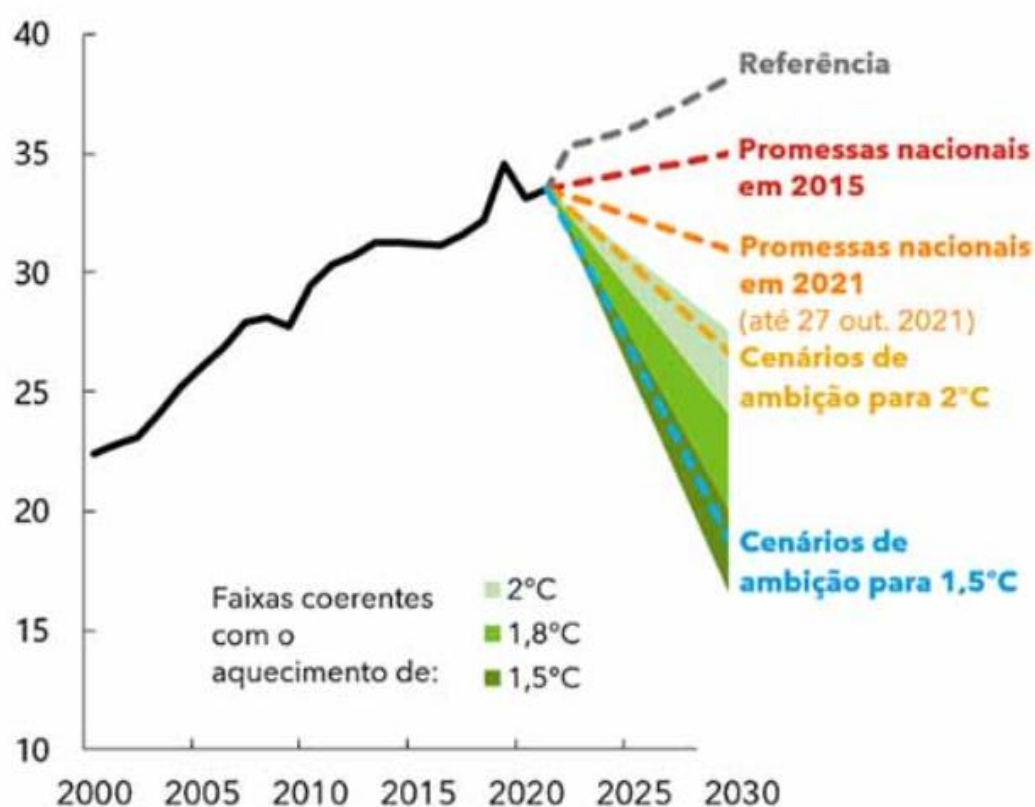


Figura 1 - Metas para o cumprimento da temperatura global definidas no Acordo de Paris 2015 ( Black , Parry, Roaf, & Zhunussova, 2021)

Segundo um novo relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, da sigla em inglês), no ano de 2020, quando o mundo foi atingido pela pandemia da Covid-19 indica que foram libertadas 1,9 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera, uma diminuição de 5,2% em relação ao ano anterior (IEA, 2022). Já em 2021, as emissões chegaram a 36,3 bilhões de toneladas, que corresponde a um aumento de 6% face ao ano transato, alcançando assim nível mais alto da história. Este aumento ocorreu devido à recuperação da economia mundial face à pandemia da Covid-19.

De acordo com a IEA, a economia global dependeu fortemente do carvão para se reerguer, o que gerou a piora na poluição. Esse combustível fóssil foi responsável por mais de 40% do aumento geral das liberações de CO<sub>2</sub> em 2021.

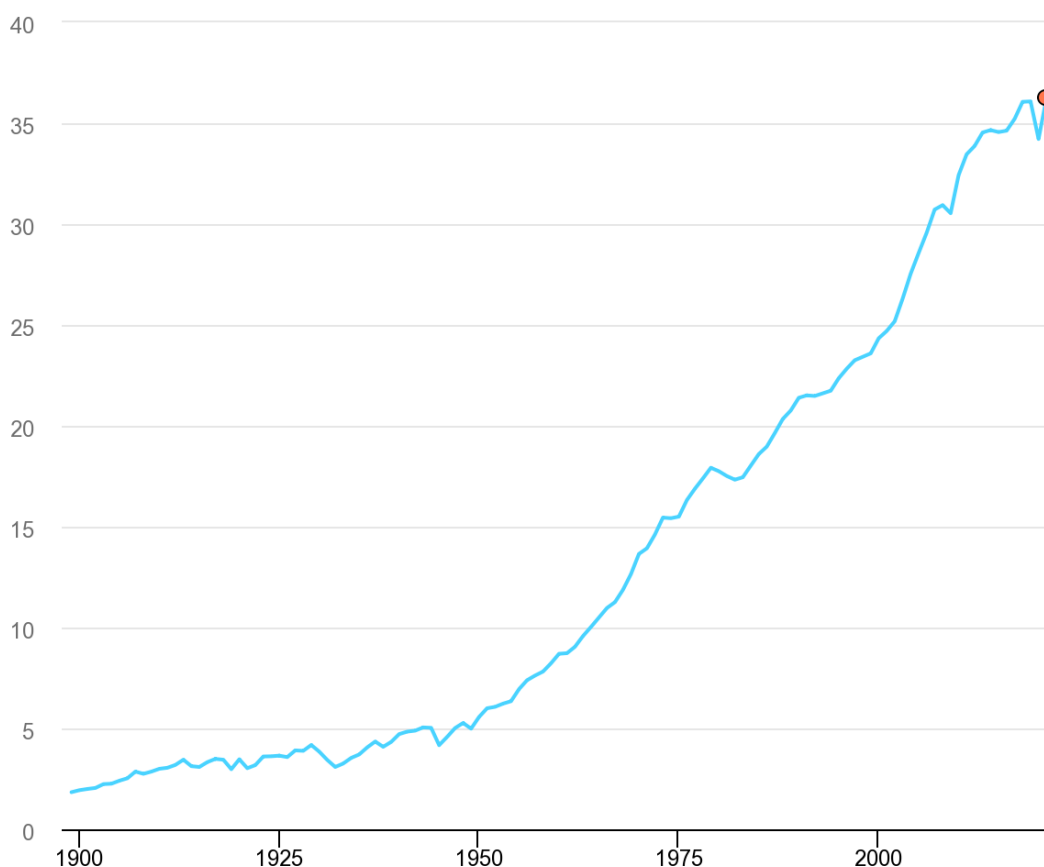


Figura 2 - Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo dos anos entre 1900-2021 (IEA, 2022)

As energias renováveis são um dos pilares em que assenta a estratégia de uma economia de baixo carbono, e têm contado com um crescimento sustentado pela UE, de acordo com (Diretiva 2009/28/CE). Em julho de 2021, no âmbito da concretização do pacote do Pacto Ecológico Europeu segundo a Agência Europeia do Ambiente (da sigla em inglês EEA) (AEA - Pacto Ecológico Europeu, 2021), foi proposta uma alteração à Diretiva Energias Renováveis, a fim de alinhar os seus objetivos em matéria de energias renováveis com a sua nova ambição em matéria de clima.

Desta forma foi proposto o aumento da meta vinculativa de fontes renováveis na matriz energética da UE para 40 % até 2030, e promovendo a utilização de combustíveis renováveis, como o hidrogénio, na indústria e nos transportes, como metas adicionais.

Apesar dos persistentes desafios gerados pela quebra nas cadeias de fornecimento dos insumos industriais originados pela pandemia da covid-19, segundo a Agência Internacional de Energia (da sigla em inglês IEA) (IEA, 2022), o crescimento da capacidade da energia renovável aumentou 6%, tornando-se no valor mais alto a nível histórico e um pouco maior ao previsto no ano passado, atingindo cerca de 295 GW.

No ponto de vista global, ocorreu um decréscimo de 17% na capacidade produtiva de energia eólica em 2021. Porém, foi compensado com um aumento na energia solar fotovoltaica e nas instalações hidroelétricas. A expansão de bioenergia, energia solar concentrada e geotérmica ficou estável em 2021 em comparação com 2020. Em termos de velocidade de crescimento, o aumento anual da capacidade da energia renovável em 2021 foi mais lento, após um aumento significativo em 2020 como é possível verificar na Figura 3.

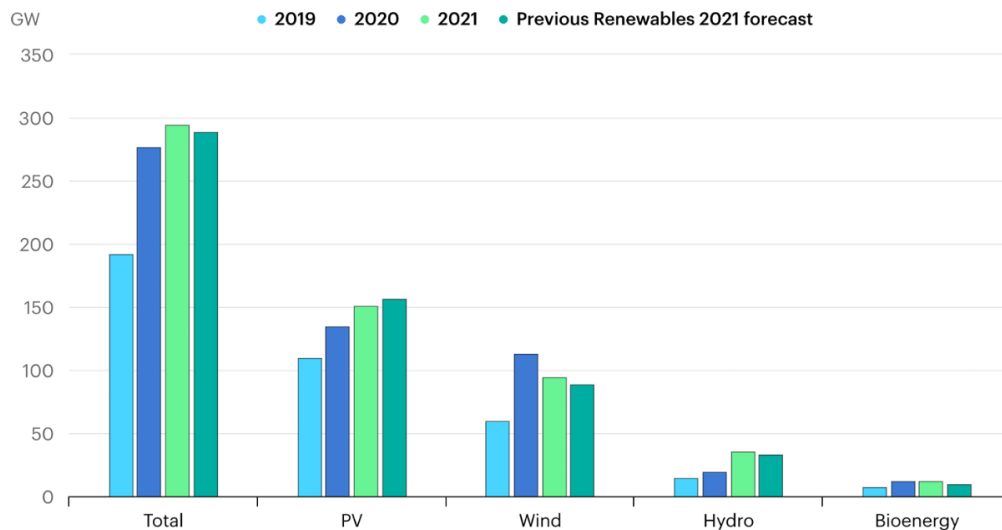


Figura 3 - Crescimento da capacidade de produção de energia renovável entre 2019 e 2021 (IEA, 2022)

A transição energética em Portugal passará indiscutivelmente pelo setor da eletricidade. Portugal tem um enorme potencial para o desenvolvimento de um setor electroprodutor fortemente descarbonizado, quer pela disponibilidade de recursos endógenos renováveis, como a água, o vento, o sol, a biomassa e a geotermia, quer pelo facto de ter desenvolvido um sistema elétrico fiável e seguro, capaz de lidar com a variabilidade que a forte aposta nas renováveis foi introduzindo e que deverá ser alvo de uma evolução importante na próxima década (PNEC, 2019).

Com um sistema de produção de energia elétrica com uma matriz fortemente renovável, como é possível verificar na Figura 4, é exequível promover e reforçar a utilização de eletricidade nos diferentes setores de atividade e da economia, tais como o setor dos transportes, passando pela indústria e pelos setores residenciais e de serviços, em paralelo com o reforço da utilização de outras FER, como a biomassa e biocombustíveis (APREN, 2021).

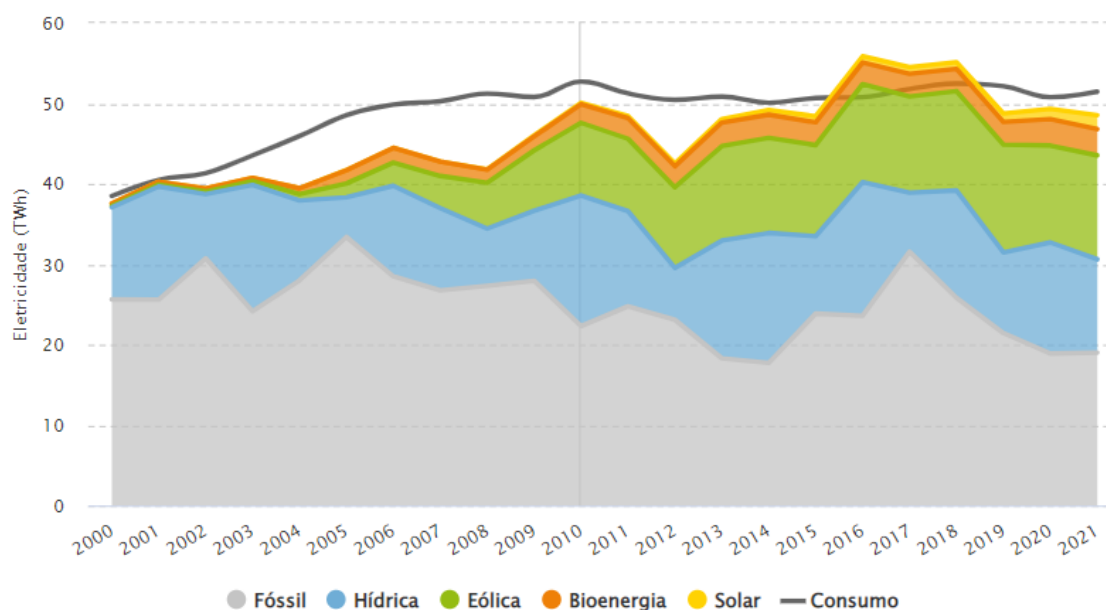


Figura 4 - Evolução da Produção Elétrica em Portugal (APREN, 2021)

Neste sentido a participação do cidadão, com um papel mais ativo enquanto consumidor/produtor (*Prosumers*)<sup>1</sup> de energia e enquanto agente para a mudança de comportamentos, terá um impacto preponderante nesta trajetória (PNEC, 2019).

Por exemplo um cidadão mais informado poderá fazer melhores escolhas, mais eficientes e sustentáveis, a sua intervenção na tomada de decisão torna-o um consumidor mais ativo na transição para uma sociedade neutra em carbono, disponível para fazer parte das mudanças estruturais necessárias para alcançar este desafio. Com o cidadão como agente informado e ativo no mercado, e com instrumentos de proteção dos consumidores mais vulneráveis, dar-se-á resposta a outra das prioridades estratégicas para 2030 que passa pelo combate à pobreza energética e à vulnerabilidade dos consumidores.

<sup>1</sup> Definição derivada da combinação entre palavras anglo-saxónicas *producer* e *consumer*

## 2.2 Panorama do Setor Elétrico e Geração Distribuída

O setor atravessa um período de mudanças estruturais que apontam para uma visão de futuro bastante diferente do cenário atual, quer para os operadores e agentes do setor, quer para os consumidores.

A grande dependência energética e o conseqüente impacto ambiental associado à produção de energia, proporcionou diversas melhorias do ponto de vista da rede elétrica, onde a Geração Distribuída ou Descentralizada <sup>2</sup>(GD) apresenta um papel predominante.

O Instituto de Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos (IEEE)<sup>3</sup> definiu as GD como instalações de produção de energia consideravelmente mais pequenas em capacidade superior à das centrais centralizadas, normalmente 10 MW ou menos, a fim de facilitar a sua interligação em quase qualquer ponto dentro da rede elétrica (Iweh, Gyamf, Tanyi, & Effah-Donyina, 2021). O sistema solar térmico, fotovoltaico, turbinas eólicas, mini-hídricas etc. são exemplos de sistemas de GD, podendo estes ser autónomos ou ligados à rede.

Os Recursos Energéticos Distribuídos<sup>4</sup> (RED) são determinantes na transição energética porque ajudam a reduzir os GEE até 90%. Os RED são formados por GD tais como, sistemas fotovoltaicos, unidades de armazenamento (ex. baterias), conversores de energia controláveis (ex. inversores), e Veículos Elétricos (VE) (Caballero-Peña, Cadena-Zarate, & Osma-Pinto, 2022).

A integração de GD num sistema de distribuição estabelece condições distintas de funcionamento à rede, nomeadamente um fluxo de potência inverso, flutuações no perfil de tensão, aumento dos níveis de falhas, redução das perdas de energia, distorção harmónica e problemas de estabilidade, o que por sua vez interfere de forma grave em todo o funcionamento do sistema elétrico (M. B. Matos & João P. S. Catalão, 2013).

---

<sup>2</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *distributed generation*

<sup>3</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *institute of electrical and electronics engineers*

<sup>4</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *distributed energy resources*

Com a crescente integração da GD na rede elétrica, a sua gestão e planeamento otimizados na rede de distribuição irá tornar possível a introdução de redes inteligentes.<sup>5</sup>

Em Portugal, o Decreto-Lei nº 153/2014 veio introduzir os regimes referentes às Unidades de Produção, definindo as Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) e Unidades de Pequena Produção (UPP).

Segundo o (Decreto-Lei n.º 76/2019 de 3 de Junho), que veio alterar o Decreto-Lei nº 153/2014, as UPAC são as instalações destinadas à produção de eletricidade, utilizando fontes renováveis ou não renováveis para autoconsumo, enquanto a atividade de produção destinada à satisfação de necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica do produtor, sem prejuízo do excedente de energia produzida, pode ser injetada na rede. As UPP são instalações destinadas à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, baseadas numa só tecnologia de produção, com capacidade máxima de 1 MW, destinada à venda total de energia.

## 2.3 Redes Inteligentes

### 2.3.1 Novo Paradigma da Rede Inteligente

A rede elétrica no modelo atual não é fiável, uma vez que tem elevadas perdas energéticas a nível de transmissão e fraca qualidade de energia, o que por sua vez irá estar propensa a falhas energéticas frequentes e desta forma fornece eletricidade inadequada dificultando assim a integração de RED (Butt, Zulqarnain, & Butt, 2020). A falta de monitorização e controlo da rede elétrica em tempo real dos componentes da mesma, cria assim uma oportunidade para implementação de redes inteligentes, que por sua vez são vistas como uma solução para a fiabilidade da rede através da monitorização em tempo real (Vale, Canizes, & Silveira, 2022). Os benefícios elétricos não são apenas o principal motivo da introdução do conceito de "Rede Inteligente", mas também é necessário ter em conta os aspetos ambientais. A utilização eficiente da

---

<sup>5</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *smart grids*

energia e dependência de recursos de energias renováveis também ajudarão a reduzir a pegada de carbono.

A rede inteligente é um sistema da rede elétrica moderna que integra tecnologias de comunicação e informação. Dada a sua complexidade é composta por várias partes interessadas, pelo que a perceção dos seus intervenientes é fundamental para a implementação de novas tecnologias e para a definição novos regulamentos (Archana, Shankar, & Singh, 2022). Além disso, estas tecnologia são orientadas para o consumidor, pelo que as necessidades e comportamentos humanos determinam o seu desenvolvimento técnico.

Segundo (Zia, Sundhu, & Ali, 2016), a rede inteligente é a visão futura dos sistemas de geração de energia, através do controlo, comunicação, transmissão e distribuição com os consumidores de forma sustentável. As características principais incidem sobre a eficiência, a qualidade energética e inteligência da rede.

Segundo (Zandi, Kuruganti, A Vineyard, & Fugate, 2018) as redes inteligentes permitem o fornecimento de energia para consumo em diferentes frações de tempo, as informações absorvidas por parte destes sistemas dada a sua complexidade precisam de ser geridos e analisados. Os equipamentos que fazem parte deste sistema devem ser inteligentes e eficientes, tendo a capacidade de compreender o padrão de consumo de energia dos consumidores, e neste sentido poupar energia através da redução dos períodos de elevada procura.

Segundo (Abrishambaf, Lezama , Faria, & Vale, 2019), as redes inteligentes são redes elétricas inteligentes utilizadas para melhorar as características críticas do sistema de potência típico, tais como a flexibilidade, fiabilidade, sustentabilidade, eficiência, etc., ao tornar a rede totalmente integrada, controlável e automatizada.

Segundo (Dileep, 2020), a rede inteligente é definida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos<sup>6</sup> como:

“Um sistema que usa tecnologia para melhorar a fiabilidade, segurança e eficiência (tanto económica como energética) do setor elétrico desde sistemas de produção, passando pelos sistemas de fornecimento, até aos consumidores de eletricidade e aumento de recursos de geração distribuída e de armazenamento.”<sup>7</sup>.

Neste sentido, para melhor entendimento deste sistema, é ilustrado na Figura 5 a configuração da rede inteligente e dos diferentes componentes que a constituem.

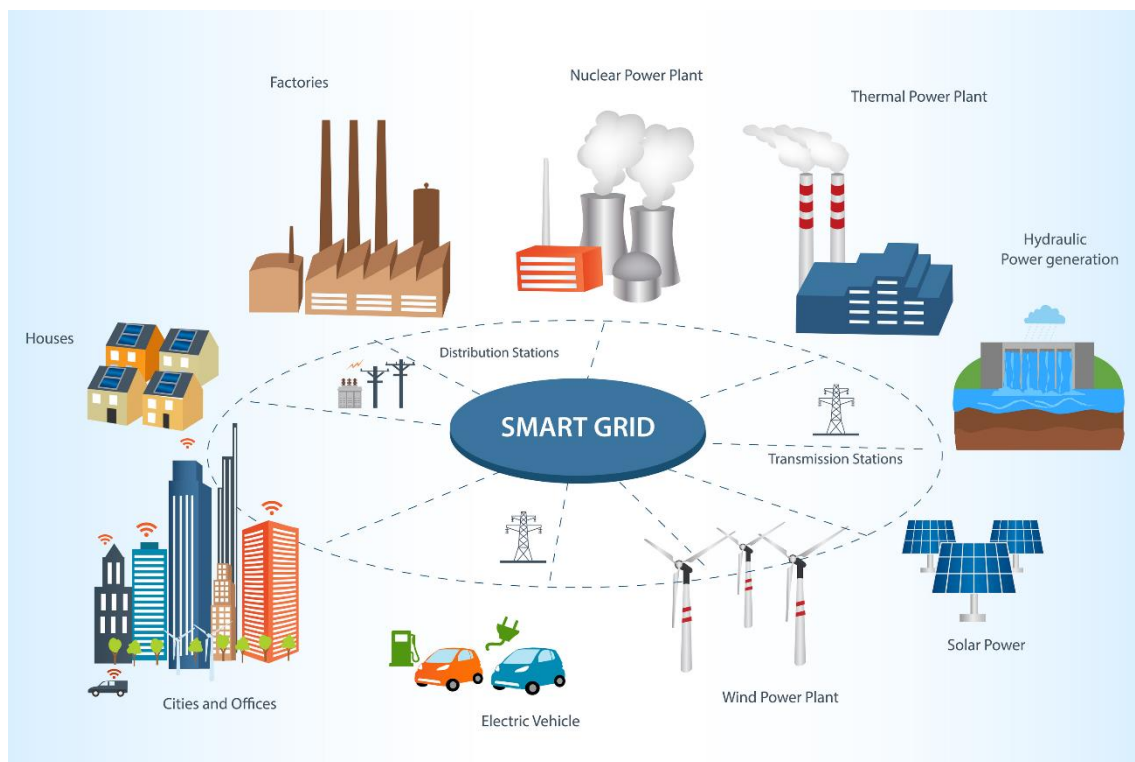


Figura 5- Estrutura de uma Rede Inteligente "SMART GRID" (IEEE Innovation at Work, 2021)

<sup>6</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *U.S Department of Energy*

<sup>7</sup> Tradução livre do autor: No original. “*The smart grid uses digital technology to improve reliability, security and efficiency (both economic and energy) of the electrical system from large generation, through the delivery systems to electricity consumers and a growing number of distributed generation and storage resources.*” (Dileep, 2020)

Para compreender melhor a conceção e o conceito de rede inteligente, é necessário compreender a sua diferença em relação a rede elétrica tradicional, apresentada a seguinte Tabela 1:

Rede Inteligente – “SMART GRID”	Rede Elétrica Tradicional
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação em tempo real bidirecional;</li> <li>• Geração de energia distribuída;</li> <li>• Rede interconectada;</li> <li>• Integração de sensores;</li> <li>• Monitorização e controlo com base em sistemas digitais em tempo real;</li> <li>• Interoperabilidade;</li> <li>• Segurança e Privacidade comprometida (devido aos acessos remotos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação unidirecional;</li> <li>• Geração de energia centralizada;</li> <li>• Sistema de rede radial (um gerador e vários consumidores);</li> <li>• Baixa ou inexistência de sensores;</li> <li>• Monitorização e controlo manual;</li> <li>• Automação limitada da rede;</li> <li>• Segurança e Privacidade fácil de gerir (apenas acesso local).</li> </ul>

Tabela 1 - Rede Inteligente VS Rede Elétrica Tradicional (Fathy, 2019)

Existem diversos componentes e tecnologias presentes nas redes inteligentes que possibilitam o seu bom funcionamento, tais como componentes do **sistema de transmissão, distribuição, infraestrutura de comunicação** e ainda a **cibersegurança** (Archana, Shankar, & Singh, 2022).

Os **sistemas de transmissão** da rede são constituídos por ferramentas assistidas por computador, a que os gestores das redes elétricas recorrem para melhorar o funcionamento das redes de geração e transmissão. Com o recurso a estas tecnologias, é possível analisar em tempo real a análise da rede e controlar a geração de forma automatizada.

Os **sistemas de distribuição** compreendem redes de média e baixa tensão, que necessitam de ser automatizadas. Nos casos de maior utilidade torna-se dispendiosa a construção de um sistema de comunicação fiável entre o centro de controlo e os pontos finais de consumo.

As **infraestruturas de comunicação** das redes inteligentes (como é possível verificar na Tabela 1 e Figura 5), permitem a comunicação bidirecional entre os fornecedores de serviços de energia e os clientes, enquanto as redes elétricas convencionais fazem apenas a comunicação unidirecional.

A **cibersegurança** tornou-se indispensável no setor da energia elétrica, com a convergência de tecnologias de informação e de funcionamento do sistema elétrico. Esta tem como objetivo assegurar a disponibilidade, confidencialidade, integridade e responsabilidade da rede inteligente.

Todos estes componentes garantem um equilíbrio da rede elétrica, aumentando a qualidade e segurança do fornecimento de eletricidade, na medida em que todos os intervenientes do sistema de energia elétrica operam de forma sincronizada e integrada.

Para que estes objetivos sejam alcançados nestas redes, é necessária a incorporação das seguintes áreas de inovação (Dileep, 2020):

- **Automação e controle digital da rede elétrica:** A monitorização e controlo da rede à distância, utilizando controles eletrônicos inteligentes, capazes de recolher e fornecer informações e desta forma, antecipar-se a perturbações da rede e corrigi-las antes que as mesmas ocorram;
- **Introdução de medição inteligente:** A capacidade de um funcionamento inteligente que permite armazenar e recolher informações tais como, disponibilização de sinais de preço, faturação e cobrança do pagamento de acordo com o seu consumo real etc.;
- **Integração de fontes de geração distribuída:** A capacidade da integração de sistemas de geração distribuída de energia em pequena e média escala, como as energias renováveis, permitindo ao consumidor comprar e vender energia da rede com o recurso a estas tecnologias.

### 2.3.2 Energia Transativa

Os sistemas de energia elétrica têm vindo a ser modernizados, não só do ponto de vista estrutural, onde os recursos distribuídos de energia de baixa potência são incorporados tornando o consumo mais eficiente, mas também a nível organizacional, alterando a participação e interação dos consumidores finais na gestão elétrica (Gomes, Spínola, Vale, & Corchado, 2019).

A Energia Transativa<sup>8</sup> (ET) é um método eficiente para os sistemas de distribuição e transmissão tradicional, uma vez que permite otimizar o funcionamento da rede elétrica de tal forma que garante a interação a nível da produção e consumo de energia, possibilitando que todos os intervenientes do sistema possam comunicar entre eles, sem pôr em causa o seu bom funcionamento (Huang, et al., 2021). Os sistemas que implementam estas técnicas são constituídos pelos vários intervenientes do mercado de energia elétrica, tais como as empresas de geração de eletricidade, fornecedores de energia, redes de transmissão e distribuição, produtores e consumidores, etc.

Esta abordagem oferece várias vantagens sobre o sistema energético tradicional, tais como uma melhor utilização dos recursos da rede, o aumento da satisfação dos consumidores, redução do custo da energia, etc. O termo ET é definido em (Shengfei, Wang, & Qiu, 2019) como:

“Técnicas para gerir a produção, consumo e fluxo de eletricidade dentro do sistema de energia, permitindo o equilíbrio dinâmico entre a procura e a oferta, tendo em conta as limitações de toda a rede”.<sup>9</sup>

No caso do mercado de energia, como representado na Figura 6, este é considerado uma plataforma que permite o comércio de energia entre as diferentes entidades (compradores, vendedores), através de vários contratos bilaterais para manter o equilíbrio entre a procura e a oferta (Abrishambaf, Lezama, Faria, & Vale, 2019).

---

<sup>8</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *Transactive Energy*

<sup>9</sup> Tradução livre do autor: No original. “*Techniques for managing the generation, consumption, or flow of electric power within an electric power system through the use of economic or market-based constructs while considering grid reliability constraints.*”

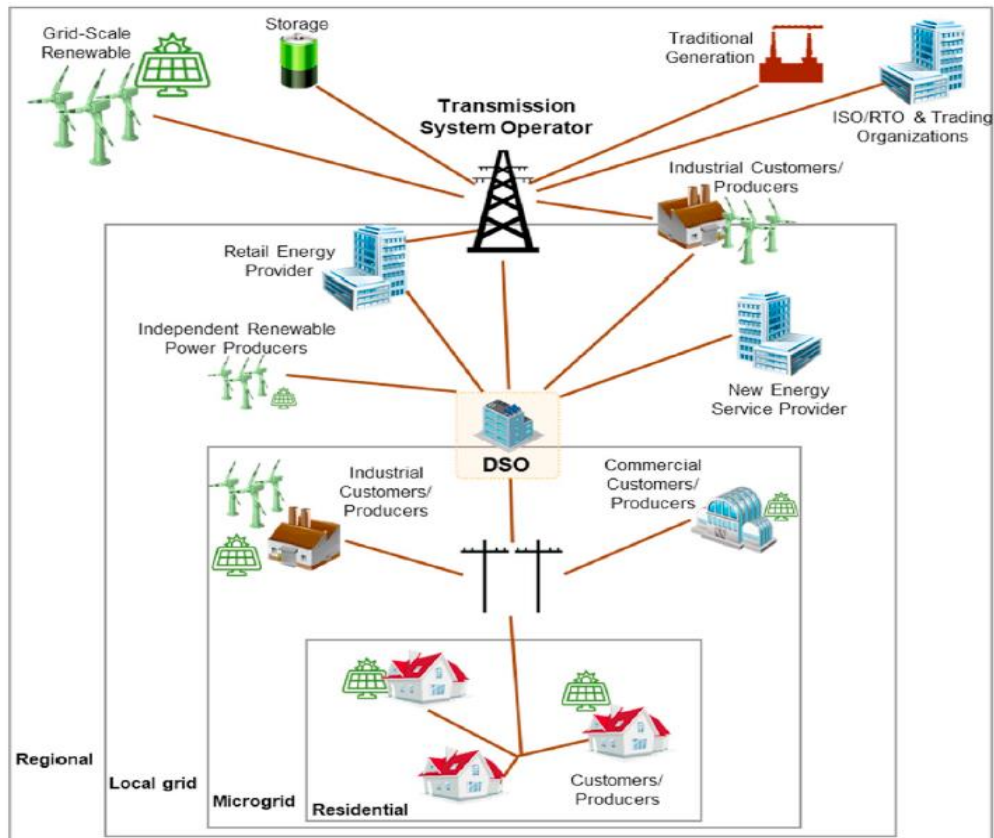


Figura 6 - Mercado Energético no âmbito da Energia Transativa (Abrishambaf, Lezama, Faria, & Vale, 2019)

O mercado energético no âmbito da energia transativa é constituído por 4 camadas: Residencial, Microrede, Rede Local e Regional. Na primeira camada de ET, Residencial, todos os utilizadores têm capacidade de produzir e vender o excedente da energia, assim como, escolher qual a tipologia de recurso energético a recorrer para compra de energia elétrica.

Na segunda camada, Microrede, sucede um controlo avançado da rede elétrica através da gestão dos intervenientes da rede, permitindo assim flexibilidade para as redes a montante.

Na terceira camada, Rede Local, são fornecidos novos serviços e é dada a oportunidade aos clientes de fazerem parte dos mercados de eletricidade.

Na última camada, Regional, ocorre um aumento da interoperabilidade, conseqüentemente a fiabilidade e a eficiência da rede é otimizada.

Os utilizadores da rede num sistema ET têm um papel determinante na conexão dos intervenientes das diferentes camadas. Por exemplo, o Operador do Sistema de Distribuição (OSD)<sup>10</sup> é responsável pelo equilíbrio da procura e oferta de eletricidade a nível da distribuição, e ainda conectar os agentes do mercado retalhista e grossista.

Por esta razão, algumas entidades, por exemplo, o Operador do Sistema de Transmissão (OST)<sup>11</sup>, são instaladas entre duas camadas, permitindo interoperabilidade do sistema elétrico.

### 2.3.3 Mercados de Energia Transativa Par a Par

A integração de energias renováveis com cargas flexíveis, estrategicamente distribuídas e tecnologias de armazenamento nas microrredes, permite o equilíbrio entre o fornecimento e a procura melhorando assim a gestão da rede elétrica. Através da utilização de inversores inteligentes, permite que as matrizes dos Sistemas Fotovoltaicos (SF) reduzam a sua geração e injetem na rede a energia quando não está a ser utilizada no local onde se encontra instalado, aumentando assim a sua eficiência. (Huang, et al., 2021) (Vale, Vieira, Faia, & Lezama, 2022).

As energias renováveis têm transformado o mercado tradicional de energia num mercado Par a Par (PP)<sup>12</sup>, onde o participante pode gerar e partilhar o seu excedente de energia com outros (consumidores) (Gomes, Faria, Pereira, Vale, & Coelho, 2021) (Vale, Faria, & Barreto, 2019). Estes utilizadores são denominados como “Prosumers”, que possuem RED, permitindo atuar no sistema como compradores ou vendedores consoante o seu excedente energético.

“Prosumer” segundo (Espe, Potdar, & Chang, 2018) é definido como “um utilizador de energia que gera energia renovável no seu domínio doméstico, podendo armazenar o excedente de energia para uso futuro ou comercializar com os clientes interessados na rede inteligente”.<sup>13</sup>

---

<sup>10</sup>Tradução para a designação anglo-saxónico Distribution System Operator

<sup>11</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico Transmission System Operator

<sup>12</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico Peer to Peer (P2P)

<sup>13</sup> Tradução livre do autor. No original. “Prosumer” refers to an energy user who generates renewable energy in his/her domestic environment and either store the surplus energy for future use or trades to interested energy customers in smart grid” (Espe, Potdar, & Chang, 2018)

Assim, o objetivo dos *Prosumers* é produzir e consumir energia, assim como partilhar e redistribuir o excedente de energia a outros utilizadores da rede (Vale, Faria, & Barreto, 2019). De uma forma global, todas as definições de *Prosumers* referem-se a utilizadores de energia que têm a capacidade de produzir energia, que pode ser consumida dentro de uma rede local paralela à rede elétrica geral.

As plataformas de comércio de energia PP permitem aos *Prosumers* comercializar diretamente energia elétrica entre eles. As transações de energia podem variar tendo em conta vários fatores tais como, a quantidade, escala de tempo e variabilidade aceitável, podendo ser específicas da localização da instalação da rede (Morstyn, Farrell, & Darby, 2018) (Vale, et al., 2018). Estas plataformas permitem agregar valor à rede elétrica reduzindo custos de transação e permitindo assim aos pequenos fornecedores competir com grandes fornecedores tradicionais.

Com base nas interações entre os participantes, o mercado energético Par a Par pode ser categorizado como (Huang, et al., 2021):

- **Mercado Integrado Par a Par<sup>14</sup>:** Neste tipo de mercado energético, os participantes (pares) interagem diretamente uns com os outros, podendo negociar numa transação uma determinada quantidade de energia sem implicar qualquer intermediário. Esta morfologia permite que os intervenientes sejam totalmente autónomos, podendo expressar a sua preferência face aos utilizadores que pretendem, de acordo com as vantagens inerentes, tais como a produção local, energia de baixo carbono, etc.

Um mercado energético PP integrado, cinge-se pelo despacho económico multi-bilateral entre vários compradores e vendedores, considerando o balanço energético a montante e a jusante no mercado a prazo. Um mercado local de microredes baseado na arquitetura P2P integrada, permite aos pequenos agentes o comércio de energia entre si.

---

<sup>14</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *full P2P market*  
Análise da implementação de energia transativa numa comunidade de energia

- **Mercado baseado na comunidade Par a Par<sup>15</sup>:** Neste tipo de mercado energético integra um Gestor da Comunidade<sup>16</sup> (GC), para gerir e coordenar as atividades comerciais do ponto de vista energético dentro de uma comunidade (Vale Z. , et al., 2021). O GC também atua como intermediário entre os utilizadores dentro uma comunidade e o resto do sistema. Este modelo de negócio da energia é aplicado em grupos de *Prosumers* (comunidades de consumidores finais), que estão geograficamente perto uns dos outros para trocar energia entre si. Além disso, um mercado baseado na comunidade depende da colaboração entre vários participantes para o comércio de energia entre si.
- **Mercado Híbrido Par a Par<sup>17</sup>:** Este mercado energético é composto pelos dois modelos descritos anteriormente (Mercado Integrado PP e Mercado baseado na comunidade PP), podendo ser dividida em duas camadas. Na parte superior os utilizadores individuais ou conjuntos de energia que fazem transação entre si (Mercado integrado P2P), ao passo que na camada inferior, o conjunto de utilizadores de energia atuam de uma forma baseada na comunidade.

Estas tipologias de mercados energéticos são definidas através de três modelos de comércio de energia em (Espe, Potdar, & Chang, 2018), onde um é o modelo Par a Par que envolve uma rede PP descentralizada, autónoma e flexível onde os *Prosumers* se interligam diretamente uns com os outros.

O segundo modelo é *Prosumers para a Rede*, que envolve os *Prosumers* que prestam serviços a uma microrede independente ou ligada à rede principal.

A terceira é a microrede organizada num modelo de grupo de *Prosumers*, que é composto por múltiplos grupos de *Prosumers*. Os grupos trabalham em conjunto e reúnem recursos para benefício da comunidade.

---

<sup>15</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *communit-based P2P market*

<sup>16</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *community manager*

<sup>17</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *hybrid P2P*

Os modelos de mercados de energia Par a Par descritos anteriormente encontram-se ilustrados na Figura 7, Figura 8 e Figura 9 (Huang, et al., 2021):

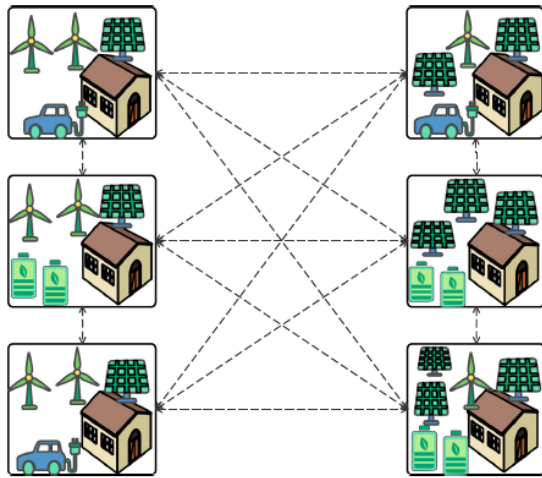


Figura 8 - Mercado integrado Par a Par (Huang, et al., 2021)

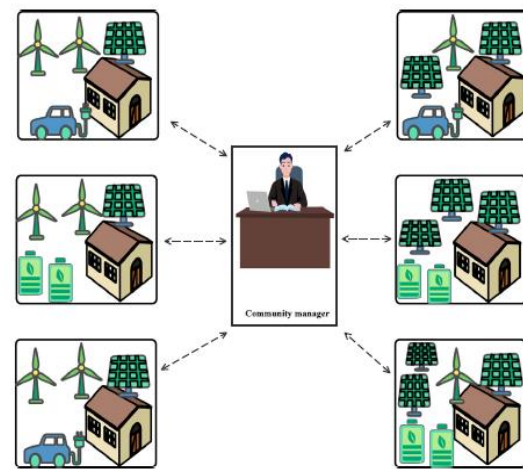


Figura 7 - Mercado baseado na comunidade Par a Par (Huang, et al., 2021)

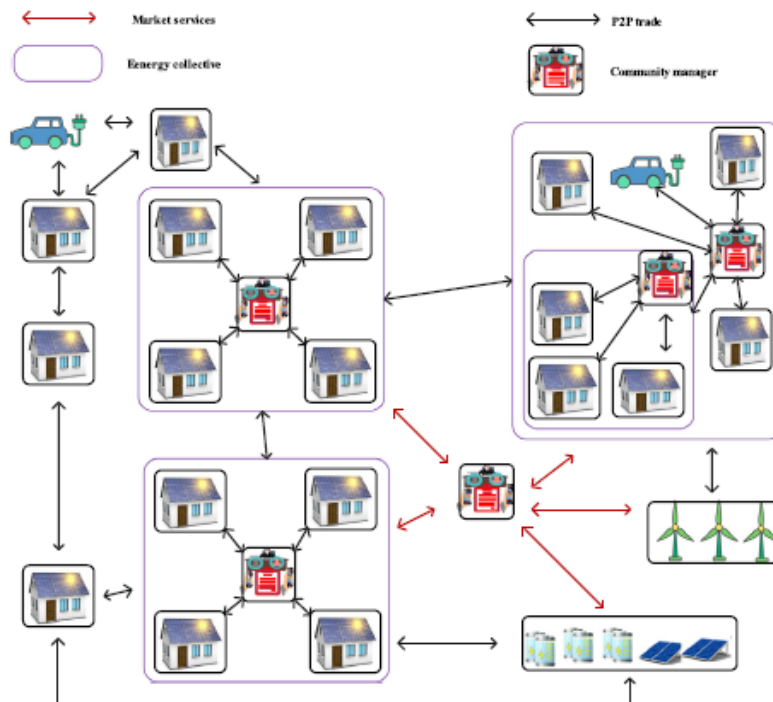


Figura 9 - Mercado Híbrido Par a Par (Huang, et al., 2021)

## 2.4 Gestão de Energia Elétrica

Com o intuito de melhor compreender a gestão de energia elétrica é necessário definir duas situações que podem causar instabilidade na rede elétrica. Estas situações são definidas como Elevada Procura<sup>18</sup> e Baixa Procura<sup>19</sup>.

A elevada procura, implica o exceder da capacidade de produção, causando falhas de energia e levando à insatisfação por parte do cliente pelo serviço requisitado. Para satisfazer o cliente pode ser necessário um aumento de investimento na produção e armazenamento de energia para satisfazer a procura (Barnier, et al., 2019). Em sentido contrário, a baixa procura significa subutilização das microredes, sendo que a energia é desperdiçada se a capacidade de armazenamento da bateria for excedida, traduzindo-se assim em um baixo retorno do investimento devido ao facto de estar a ser gasta eletricidade sem nenhuma aplicação.

Por exemplo, numa central hidroelétrica a procura dos consumidores controla a potência das turbinas. Quanto maior a procura, maior é a energia cinética contida no fluxo de massa de água sobre as pás das turbinas transformada em eletricidade. Quando a procura diminui, o excesso de energia da massa de água segue pelo rio, ao invés de transformar-se em energia elétrica (Moreira, 2020). As centrais de geração de energia devem ser capazes de atender à procura quase que instantaneamente, no entanto algumas instalações permanecem inativas até serem necessárias, contudo manter as centrais a funcionar apenas para os momentos de pico é caro e ineficiente.

Neste sentido, os principais intervenientes da rede elétrica precisam de equilibrar o fornecimento de eletricidade com a procura, através da instalação de sistemas de armazenamento de energia quando a procura excede o fornecimento e armazenar eletricidade quando a procura é baixa. Posto isto, a implementação de estratégias GLP encontra-se como uma solução para o problema do fornecimento de energia elétrica, permitindo assim o seu equilíbrio (Barnier, et al., 2019).

---

<sup>18</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *high demand*

<sup>19</sup> Tradução para a designação anglo-saxónico *low demand*

### 2.4.1 Gestão no Lado da Procura (GLP)

A elevada procura de energia descrito na secção 2.4, ocorre tipicamente quando existe uma elevada utilização de eletricidade por parte dos setores de consumo final: Residencial, Industrial e Comercial.

Com o aumento da procura de eletricidade foi necessário encontrar soluções que permitissem reduzir a sobrecarga energética durante as horas de ponta e distribuir de forma uniforme a produção de energia de vários tipos de centrais elétricas (combustíveis fósseis ou baseado em FER) (Zia, Sundhu, & Ali, 2016). Neste sentido, a Gestão no Lado da Procura<sup>20</sup>, encontra-se como uma solução viável para gerir as cargas e desta forma satisfazer a procura futura de eletricidade através da implementação de estratégias GLP.

A GLP tem um papel preponderante nas futuras redes inteligentes, uma vez que oferece apoio nas diversas áreas de atuação das redes inteligentes tais como a gestão e controlo do mercado de eletricidade, construção de infraestruturas elétricas, e gestão de recursos energéticos descentralizados (Garg, Arya, & Paliwal, 2015).

A participação ativa dos consumidores é uma das chaves para o novo paradigma da GLP, que permite que os consumidores possam alterar os seus perfis de consumo (Gomes, Spínola, Vale, & Corchado, 2019).

Os produtores/consumidores e os fornecedores de energia poderão ter de ser incentivados a melhorar o funcionamento da RI (Chengoden, et al., 2022). Por exemplo, a gestão/condicionamento da procura, onde os clientes podem ter de reduzir o seu consumo de energia nos períodos de pico para equilibrar a oferta e a procura de eletricidade. Para motivar os consumidores de energia durante as horas de ponta, os operadores da rede podem fornecer incentivos como a redução de preços, com base no seu consumo de energia. Desta forma, evita-se aumentar a capacidade de produção ou reforçar a rede de transmissão e distribuição.

---

<sup>20</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *demand side management*

As estratégias de GLP focam-se na utilização de tecnologias de poupança de energia, tarifas de eletricidade, incentivos financeiros e políticas governamentais, com o intuito de mitigar o pico de procura em vez de aumentar a capacidade de produção ou reforçar a rede de transmissão e distribuição (O. M. Longe, 2015).

Estas estratégias podem ser agrupadas em três objetivos distintos (Francisco, 2018):

- **Gestão de cargas** - Redistribuir a procura de energia de modo a reduzir o consumo durante os períodos de maior procura para os períodos de menor procura;
- **Conservação Estratégica** - Reduzir o consumo de energia, ao aumentar a eficiência energética;
- **Crescimento Estratégico** - Aumentar a utilização de energia durante os períodos de menor procura.

Estes objetivos podem ser alcançados através da utilização de seis tipos de estratégias distintas (Figura 10), maioritariamente diferenciadas na forma como atuam na gestão da carga. Estas são definidas como (Marco Pasetti, 2018): Corte de Pontas<sup>21</sup>, Enchimento de Depressões<sup>22</sup>, Deslocamento de Cargas<sup>23</sup>, Conservação Estratégica<sup>24</sup>, Crescimento Estratégico<sup>25</sup> e Diagrama de Carga Flexível<sup>26</sup>.

---

<sup>21</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *peak clipping*

<sup>22</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *valley filling*

<sup>23</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *load shifting*

<sup>24</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *strategic conservation*

<sup>25</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *strategic load growth*

<sup>26</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *flexible load shape*

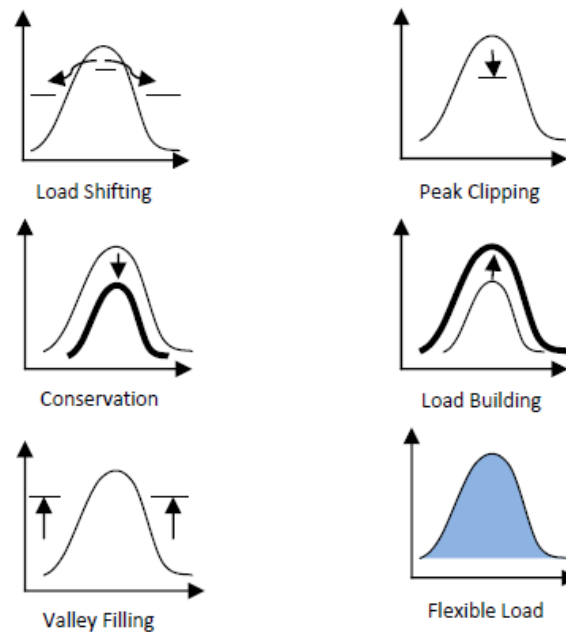


Figura 10 - *Gestão no Lado da Procura - Configuração da Carga* (Longe, Rimer, Ouahada, & Ferreira, 2015)

O **Corte de Pontas** é uma das estratégias mais importantes do GLP. O seu objetivo consiste na redução do pico do sistema, e é geralmente necessário em caso de escassez, ou mesmo perda de capacidade de energia, ou em caso de elevados custos incrementais na produção de eletricidade. O corte de picos pode ser obtido através da redução direta ou indireta do consumo de energia dos consumidores, respetivamente, por meio de sinais de controlo ou de preços.

Outra forma de redução dos picos de carga do sistema é representada pelo **Deslocamento de Cargas**, que visa deslocar a procura de energia dos consumidores finais das horas de ponta para as horas de menos movimento, por meio de sinais de preços ou através de sistemas de armazenamento de energia.

O **Enchimento de Depressões** é, pelo contrário, o aumento da procura de energia por parte dos consumidores em períodos em que os custos incrementais a longo prazo são menores do que o preço médio da eletricidade.

O **Diagrama de Carga Flexível** pode ser considerado como a combinação dos três principais modos de gestão de carga, e visa uma modificação mais complexa e flexível dos padrões de procura de energia dos utilizadores finais.

As técnicas de gestão estratégica da qual fazem parte a **Conservação Estratégica** e o **Crescimento Estratégico**, onde a primeira representa o objetivo de reduzir o consumo de eletricidade (por exemplo, através de ações de eficiência energética), enquanto inversamente, a carga estratégica de crescimento visa aumentar o consumo de energia dos utilizadores finais, seguindo políticas ou economias de desenvolvimento económico de escala.

#### 2.4.2 Resposta à Procura (RP)

Resposta à Procura<sup>27</sup> (RP) é um tipo particular das estratégias de GLP cujo foco é a gestão e controlo de consumo energético por parte do consumidor (Silva, Faria, & Vale, 2019). O conceito de Resposta à Procura está inserido em vários estudos relacionados com modelos de negócio do mercado de eletricidade atual, e mesmo com a atual sistema da rede elétrica (Vale, Soares, Castro, Ghazvini, & Abrishambaf, 2017). Este conceito pode ser interessante na medida em que as cargas possam ser geridas de forma eficiente em condições de elevada procura.

Na implementação atual a RP é entendida geralmente como uma redução temporária ou um desvio da carga de consumo em períodos em que é mais benéfico para o sistema de fornecimento de eletricidade, aumentando a qualidade e eficiência da rede elétrica (Panda, Mohanty, & Rout, 2022).

A RP foi introduzida no sistema de energia com vista a melhorar fiabilidade da rede com a participação ativa e resposta rápida dos utilizadores finais em situações de imprevistos na rede (Vale, Soares, Castro, Ghazvini, & Abrishambaf, 2017). Com o desenvolvimento do conceitos como a SG, o aumento da utilização de recursos de geração distribuída, e a participação dos consumidores no mercado da eletricidade, a RP foi considerada um novo recurso (Honarmand, 2021).

A fim de explorar a RP e todo o seu potencial, conceitos que foram anteriormente descritos como a Geração Distribuída, através da integração de FER como o vento e a

---

<sup>27</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *demand response*

energia solar, permite tornar o sistema mais eficaz, fiável e comunicação barata com melhorias nas infraestruturas e tecnologias utilizadas (Silva, Faria, & Vale, 2019).

Na UE, a RP é promovida pela Diretiva de Eficiência Energética (2012/27/UE). De acordo com o Artigo 15.8 da Diretiva de Eficiência Energética, todos os estados-membros devem estimular a implementação de programas RP em diferentes mercados energéticos.

Segundo (T. Ponds, Arefi, Ali, & Ledwich, 2018), os programas RP são utilizados pelos operadores em redes de energia para manter o sistema de fornecimento de energia acessível e estável em períodos de pico de procura, pico de produção de FER, ou pico de preço da eletricidade.

O programas RP são definidos como um conjunto de medidas que visam ajustar a procura de eletricidade de acordo com as condições de fornecimento de energia elétrica, nos períodos de consumo em que o desfasamento entre o nível de procura instantânea e a produção de energia não são as melhores, permitindo assim a mitigação das falhas elétricas sem comprometer a fiabilidade da rede e o fornecimento de energia nesses períodos (Garg, Arya, & Paliwal, 2015) (Vale Z., Faria, Ramos, Morais, & Fotouhi Ghazvini, 2015).

Segundo (Honarmand, 2021), o conceito de RP é apresentado da seguinte forma:

"Alterações na utilização elétrica por utilizadores finais do seu consumo normal em resposta às alterações no preço da eletricidade ao longo do tempo, ou para incentivar pagamentos destinados a incitar uma menor utilização de eletricidade em alturas de preços elevados no mercado grossista ou quando a fiabilidade do sistema é posta em causa".<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup>Tradução livre do autor. No original. "*Changes in electric usage by end-use customers from their normal consumption in response to changes in the price of electricity over time, or to incentive payments designed to induce lower electricity use at times of high wholesale market prices or when system reliability is jeopardized.*" (Honarmand, 2021)

Contudo, esta definição foi reformulada sendo definida da seguinte forma:

"Ações dos utilizadores que alteram o seu consumo (procura) de energia elétrica em resposta a sinais de preços, incentivos, ou instruções dos operadores da rede".<sup>29</sup>

De acordo com esta denominação, os utilizadores de eletricidade são transformados de atores passivos para ativos para ter poupanças e apoiar a rede elétrica através da flexibilidade da sua procura.

Para implementar os programas RP é necessário definir as medidas a adotar de acordo com as necessidades quer do sistema quer do consumidor. Os programas de RP podem ser classificados em duas categorias: Programas baseados no preço, programas baseados em incentivos, como representado na Figura 11 (Honarmand, 2021) (Vale , Gomes , Pereira, Faia, & Faria , 2022):

<b>Programas baseados no preço</b>	<b>Programas baseados em incentivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de Uso (TU);</li> <li>• Preço em Tempo Real (PTR);</li> <li>• Preço Crítico de Pico (PCP);</li> <li>• Redução do Tempo de Pico (RTP);</li> <li>• Preço em Dias Extremos (PDE);</li> <li>• Taxa de Bloco Inclinado (TBI).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo Direto da Carga (CDC);</li> <li>• Carga Interrompível (CI);</li> <li>• Carga Restringível (CR);</li> <li>• Redução de Carga Programada (RCPr);</li> <li>• Resposta Comportamental à Procura (RCP);</li> <li>• Resposta de Emergência à Procura (REP).</li> </ul>

Figura 11 - Classificação dos Programas RP (Honarmand, 2021) (Vale , Gomes , Pereira, Faia, & Faria , 2022)

Segundo (Honarmand, 2021), os programas baseados no preço são programas que visam a modificação da regulação tarifária, onde o preço de eletricidade varia de acordo com o período de utilização. A fim de motivar os consumidores a ajustar os seus

<sup>29</sup> Tradução livre do autor. No original "Actions by customers that change their consumption (demand) of electric power in response to price signals incentives, or directions from grid operators." (Honarmand, 2021)

consumos de energia neste tipo de programas, pagariam um preço mais alto durante os períodos de maior procura e preços mais baixos nos períodos de menor procura.

Como mostra Figura 11, os programas de RP baseados em preços podem ser divididos em:

- **Tempo de Uso<sup>30</sup> (TU):** nos programas do tipo TU são definidos preços de compra de energia para cada período do dia, preços esses que normalmente são definidos para as 24 horas do dia. Esses preços refletem os custos de produção da energia para esses períodos, e podem variar devido às estações do ano ou dias da semana, por exemplo. Um exemplo de uma tarifa com estas características, é a tarifa bi-horária, onde os preços de compra de energia variam de acordo com o período do dia, períodos de pico de utilização o preço da energia é mais elevado, ao contrário do que sucede nos períodos fora do pico onde o preço é mais barato;
- **Preço em Tempo Real<sup>31</sup>(PTR):** nos programas PTR o preço da eletricidade usualmente sofre flutuações horárias, refletindo assim as alterações ao preço da eletricidade no mercado grossista, ou seja, quando a procura é maior, os preços tendem também a ser mais elevados nesses períodos. Neste tipo de programa permite controlar de forma instantânea os preços e desta forma os clientes podem adequar o seu consumo;
- **Preço Crítico de Pico<sup>32</sup> (PCP):** neste tipo de programas, é definido um preço a pagar pelo consumo de energia em períodos críticos de pico de consumo. Normalmente, esses preços são bastante elevados quando comparados com os preços fora desse período, de forma a motivar os consumidores a reduzirem o seu consumo nesses períodos críticos e consumirem energia em períodos onde a procura não seja tão elevada, no sentido manter a fiabilidade e estabilidade do sistema e evitar a ocorrência de falhas a nível do fornecimento de energia. Com base nisto, pode dizer-se que a tarifa PCP é a mesma do que as tarifas dos programas TU, onde é aplicada uma tarifa mais alta para um período limitado de horas.

---

<sup>30</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *time of use*

<sup>31</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *real time pricing*

<sup>32</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *critical peak pricing*

- **Redução do Tempo de Pico<sup>33</sup> (RTP):** neste tipo de programas é usualmente oferecido aos consumidores residenciais e comerciais sem controlo automático dos consumos energéticos. Este programa é muito semelhante ao TU e PCP, os preços sofrem variações e os consumidores que reduzirem o seu consumo em períodos de pico de carga serão recompensados. Por outro lado, os consumidores que não o fizerem pagam a eletricidade ao preço normal.
- **Preço em Dias Extremos<sup>34</sup> (PDE):** Este programa é muito semelhante ao TU, mas aplica uma taxa de preço elevada durante um período limitado de dias. Por outro lado, é semelhante ao PCP exceto no aspeto do preço não ser anunciado no dia anterior. Neste contexto, existe também um programa de PCP em Dias Extremos (PCPDE) que inclui especificações tanto de programas PCP como de PDE. Este sistema prevê taxas PCP para os períodos de pico e de vazio durante determinados dias, contudo não são utilizados com frequência.
- **Taxa de Bloco Inclinado<sup>35</sup> (TBI):** Este método é geralmente utilizado para consumidores domésticos, a taxa de preços aumenta com a taxa de consumo do utilizador. A estrutura dos preços deste programa geralmente evolui de forma gradual, para encorajar os clientes a reduzir o consumo de eletricidade.

Segundo (Honarmand, 2021), os programas baseados em incentivos são programas que fornecem incentivos monetários aos consumidores que ajustem/reduzam os seus consumos de energia elétrica. Estes programas permitem dar resposta à variação do funcionamento da rede tais como o congestionamento da rede local ou regional, que pode pôr em causa a fiabilidade do sistema.

- **Controlo Direto da Carga<sup>36</sup> (CDC):** neste programa, a entidade responsável tem a capacidade de reduzir a carga ou desligar remotamente os equipamentos elétricos dos pequenos consumidores residenciais ou comerciais, durante os períodos de pico da carga. Normalmente, os consumidores recebem uma compensação por participarem no

---

<sup>33</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *peak time rebate*

<sup>34</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *extreme day pricing*

<sup>35</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *inclining block rate*

<sup>36</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *direct load control*

evento de RP. Essa compensação, usualmente, corresponde a um crédito para usar na fatura de eletricidade, no entanto podem ser penalizados pela não participação.

- **Carga Interrompível<sup>37</sup> (CI):** nos programas SI, normalmente existe um compromisso por parte do consumidor para reduzir os seus consumos durante períodos em que possa haver contingências do sistema, em troca da sua participação pagam preços mais baixos da energia. Neste caso, consumidores comerciais e industriais com cargas superiores a 1MW, que se tenham comprometido através de um acordo prévio a reduzir a sua carga durante esses períodos, mas que não o façam, normalmente pagam multas em forma de preços de energia bastante elevados, que entram em vigor durante períodos de contingência do sistema.
- **Carga Restringível<sup>38</sup> (CR):** os programas CR, têm como objetivo a redução das cargas médias em cerca de 200 kW para cargas maiores. Os consumidores aceitam em participar no programa através do ajuste da carga de forma manual ou automática, num determinado período. Tal como o CI, são oferecidos incentivos aos clientes que participam no programa para este serviço, contudo dependendo do número de cargas dos participantes, existindo penalizações pela não participação nestes programas.
- **Redução de Carga Programada<sup>39</sup> (RCPr):** Este programa é uma versão de redução de carga que fornece mais controlo aos clientes. Os participantes têm a possibilidade de escolher o montante e a duração da redução (frequentemente até 4 horas durante a semana). Existem duas opções para os consumidores: reduzir a carga média pelo menos em 15% por mês, ou um mínimo de 100 kW para pelo menos 4 horas entre uma a três vezes por semana, sendo recompensados por esta redução, no entanto não serão penalizados se não participarem.
- **Resposta Comportamental à Procura<sup>40</sup> (RCP):** Nos programas RCP, os consumidores são encorajados através de publicidade a poupar energia, modificando o seu consumo de eletricidade nos períodos de pico. Apesar destes eventos não serem voluntários e se

---

<sup>37</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *interruptible load*

<sup>38</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *curtaible load*

<sup>39</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *scheduled load reduction*

<sup>40</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *behavioral demand response*

basearem em alterações de comportamento dos consumidores, na restrição do consumo de eletricidade, não é realizado qualquer pagamento pelo seu cumprimento.

- **Resposta de Emergência à Procura<sup>41</sup> (REP):** Normalmente os programas ERP oferecem incentivos monetários aos consumidores para que os mesmos reduzam os seus consumos de energia durante períodos em que a reserva de energia seja insuficiente, de forma a manter a estabilidade da rede e impedir a extensão dos danos no sistema elétrico.

Os programas RP podem trazer vários benefícios para a rede elétrica e para os consumidores. Estes benefícios podem ser categorizados em 3 vertentes que têm impacto direto face à infraestrutura do sistema de energia elétrica tal como ilustra a seguinte Figura 12:

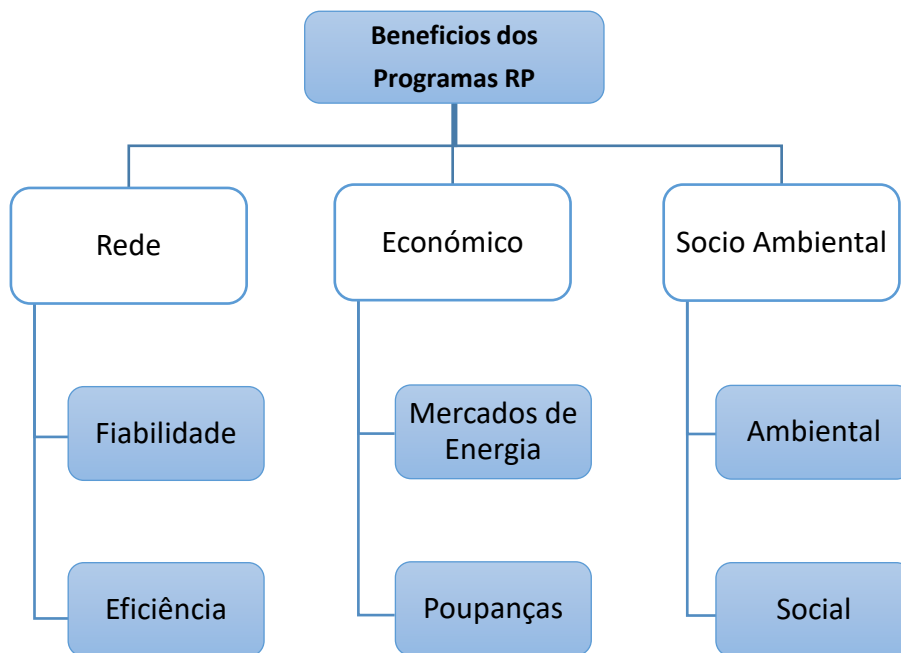


Figura 12 - Benefícios dos Programas RP (Honarmand, 2021)

---

<sup>41</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *emergency demand response*

- **Benefícios na rede elétrica:** A fiabilidade e a eficiência energética da rede são benefícios que permitem o aumento do desempenho da infraestrutura elétrica. Através da utilização flexível da procura e a redução de picos de carga com o recurso às técnicas da Figura 10, irão reduzir a necessidade de aumentar a capacidade do sistema elétrico, nomeadamente nas redes de transmissão e distribuição. Estas vantagens permitem que seja feita uma melhor gestão de perdas da rede devido à redução de falhas no fornecimento de energia, garantindo um funcionamento ótimo do ponto de vista do equilíbrio da procura e da oferta.
- **Benefícios económicos:** Os benefícios do lado do mercado de energia estão associados ao facto dos participantes poderem influenciar o mercado de energia através da gestão do seu consumo, isto por sua vez previne o consumidor na situação de um aumento dos preços de energia no mercado grossista.

A utilização deste tipo de programas permite uma redução na fatura da eletricidade, uma vez que são fornecidos incentivos monetários aos consumidores que ajustem o seu perfil de consumo.

- **Benefícios Socioambientais:** Os benefícios do ponto de vista ambiental são as reduções dos GEE, uma vez que é reduzido o consumo e produção de eletricidade, com origem de grandes centrais elétricas que fazem uso de combustíveis fósseis. Por outro lado, o uso de energias renováveis através de recursos energéticos distribuídos, reduz substancialmente este tipo de gases nocivos para o meio ambiente. Ainda a redução da destruição ambiental, dado que estes programas evitam a necessidade da expansão da infraestrutura elétrica, o que por sua vez, conseqüentemente evita a necessidade de desenvolver estas infraestruturas, pois a sua conceção implicará um impacto nos diversos ecossistemas.

# 3. SIMULADOR DE CONSUMIDORES FINAIS NA REDE ELÉTRICA COM ENERGIA TRANSATIVA

- 3.1 Descrição das Novas Funcionalidades Implementadas no Simulador
- 3.2 Metodologia da Implementação das Novas Funcionalidades no Simulador



### 3 SIMULADOR DOS CONSUMIDORES FINAIS NA REDE ELÉTRICA COM ENERGIA TRANSATIVA

A participação dos consumidores finais de energia na rede elétrica tem vindo a revolucionar o sistema elétrico, na medida em que a automatização trará muitos benefícios à rede elétrica, devido à redução de perdas no processo de fornecimento de energia e conseqüente melhoria na qualidade de fornecimento, assim como uma redução do custo final da eletricidade para o consumidor final.

Neste sentido, adaptou-se um simulador já desenvolvido numa outra dissertação de mestrado (Gomes L. , Perceção do utilizador final de energia sobre redes inteligentes e a sua participação ativa, 2020) disponibilizado por parte do GECAD, que tem em conta vários cenários em uma comunidade (conjunto de consumidores finais) de energia. Os consumidores são caracterizados de acordo com o respetivo consumo, produção e flexibilidade. É importante realçar que a flexibilidade é descrita pela quantidade de energia que os utilizadores estão dispostos a reduzir num determinado período.

Este simulador já existente contém as seguintes funcionalidades (Gomes L. , 2020):

- Ler um ficheiro Excel com os dados de entrada (Perfis de consumo e produção, tarifas horárias de eletricidade);
- Gerar de perfis de consumo através de um perfil base;
- Gerar de perfis de produção através de um perfil base;
- Gerar perfis de flexibilidade para cada consumidor final;
- Executar a simulação dos vários modelos e:
  - calcular a energia consumida e gerada por cada utilizador;
  - calcular a energia proveniente da rede e a energia injetada na rede por cada utilizador;
  - calcular os ganhos e gastos da energia proveniente ou injetada na rede para cada utilizador;
  - calcular os ganhos, gastos e balanço de custos para a rede;
  - calcular o consumo e produção total da comunidade;
  - calcular os ganhos, gastos e o balanço de custos para a comunidade.
- Guardar os dados de entrada e os resultados num ficheiro Excel.

### 3.1 Descrição das Novas Funcionalidades Implementadas no Simulador

No seguimento do projeto do simulador base já existente (Gomes L. , Perceção do utilizador final de energia sobre redes inteligentes e a sua participação ativa, 2020), as funcionalidades acrescentadas ao simulador têm como objetivo realizar uma análise do ponto de vista económico da implementação de uma rede elétrica inteligente com energia transativa, em comparação direta com a rede elétrica tradicional. Desta forma as novas funcionalidades são as seguintes:

- Adicionar a capacidade de transacionar energia produzida entre os consumidores finais, através da troca/negociação do excedente da energia produzida por cada utilizador;
- Adicionar a capacidade de executar a simulação e calcular:
  - A energia consumida e produzida por cada consumidor final em cada período;
  - A energia trocada/negociada entre os consumidores finais na rede inteligente em cada período;
  - A energia injetada na rede resultado das transações/negociações em cada período;
  - Os ganhos, gastos e o balanço dos custos para a rede e para a rede inteligente em cada um dos períodos;
- Executar a simulação tendo em conta cada período e os modelos de simulação.

Este simulador com as novas funcionalidades, permite aos consumidores finais utilizarem a ET de acordo com os seus perfis de consumo e geração, e uma vez supridas as necessidades energéticas dos consumidores, o excedente da energia gerada será vendida à rede por cada utilizador a uma determinada tarifa de eletricidade tendo em conta o preço a cada período.

É importante realçar que as condições de flexibilidade foram mantidas iguais às da origem do simulador existente (Gomes L. , 2020). Ou seja, a flexibilidade nos períodos de menor consumo foi gerada considerando um valor entre 5 % a 20 % do consumo. Para os períodos de maior consumo foi gerada uma flexibilidade considerando um valor entre 20 % e 40 % do consumo.

Os períodos de maior consumo foram definidos como sendo os períodos onde o consumo supera 150 % do consumo médio diário, sendo que os restantes são considerados de consumo normal.

As novas funcionalidades implementadas no simulador tiveram em conta os modelos de simulação desenvolvidos por (Gomes L. , 2020), contudo para a realização dos casos de estudo apenas se consideraram adequados 4 modelos tipo de simulação, fazendo uso da energia transativa. Desta forma será possível analisar a implementação da energia transativa numa rede inteligente em detrimento da rede elétrica tradicional. Os tipos modelos de simulação utilizados estão descritos na seguinte Tabela 2.

	<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	Com autoconsumo	Os utilizadores têm o poder de consumo da energia gerada, apenas o excedente é injetado na rede
<b>2</b>	Com autoconsumo e total flexibilidade	Todos os utilizadores fazem uso da energia gerada, o remanescente é vendido à rede e no caso de escassez geral de energia, o utilizador ajusta o consumo.
<b>3</b>	Com autoconsumo e parte dos consumidores com flexibilidade.	Idêntico ao ponto anterior, no entanto, apenas uma parcela da comunidade é que está dotada de capacidade de flexibilidade.
<b>4</b>	Com autoconsumo e parte dos consumidores com parte flexibilidade	Uma parcela dos utilizadores irá consumir a energia gerada fazendo uso da flexibilidade, mas não na sua totalidade. Apenas os utilizadores que não se encontram sobre esta condição irão dar uso da totalidade da flexibilidade, sendo que o excedente para ambos o caso será injetado na rede.

Tabela 2 - Modelos de Simulação (Gomes L. , 2020)

### 3.2 Metodologia da Implementação das Novas Funcionalidades no Simulador

Nesta secção apresenta-se a metodologia adotada para a implementação das novas condições do simulador e o respetivo processamento dos dados do mesmo, através de diagramas e esquemas para uma melhor perceção do trabalho desenvolvido.

A implementação através de métodos computacionais como os simuladores permite a resolução de problemas de forma rigorosa, possibilitando desta forma uma melhor compreensão e análise do problema em questão, dada a capacidade de processamento de dados e automatização de processos, fazendo com que seja possível apresentar uma solução alternativa ao problema proposto.

O simulador que foi utilizado tem em conta o novo paradigma de rede elétrica inteligente, e tem como código fonte a linguagem de programação Python, disponibilizada em código aberto no repositório do GitHub.

Este simulador permite carregar dados de consumo e geração de energia elétrica, assim como dados relativos às tarifas de eletricidade na folha de cálculo `userData`, e desta forma gerar na folha de cálculo dashboard os resultados da simulação, tendo em conta os vários modelos de gestão de energia elétrica, possibilitando uma análise do ponto de vista da rede elétrica tradicional.

### 3.2.1 Implementação e Processamento do Simulador

No seguimento da implementação realizada, apresenta-se na Figura 13, o modo do funcionamento do simulador e quais as etapas e condições aplicadas para o processamento dos dados.

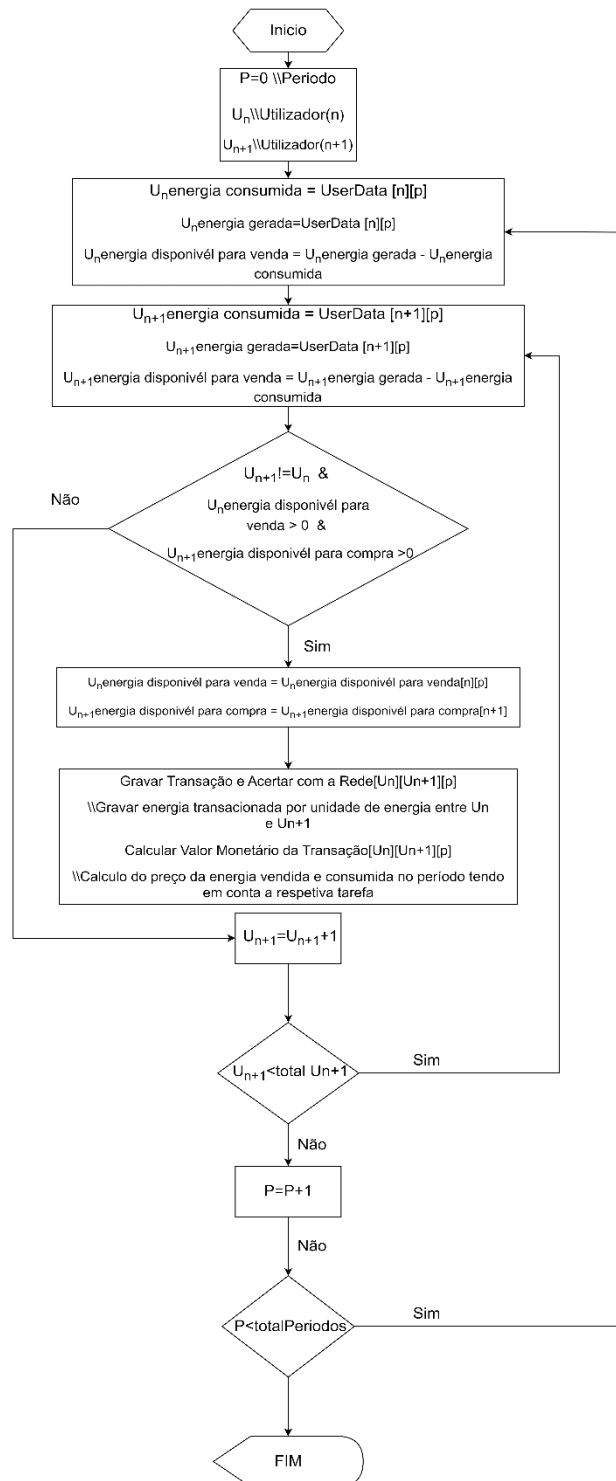


Figura 13 - Implementação da Energia Transativa no Simulador

Para a melhor compreensão de como é desenvolvida a implementação do simulador, apresenta-se na Figura 14, o modo como se processam os dados desde o seu carregamento à abertura do ficheiro Dashboard.xlsx. Neste ficheiro são armazenados os dados das transações de energia por período da comunidade e os custos e balanços económicos dos mesmos, para posterior análise dos resultados oriundos das simulações realizadas.



Figura 14 - Processamento de Dados do Simulador

### 3.2.2 Descrição dos Datasets

Com o intuito de proceder à caracterização dos consumidores, foi necessário numa primeira fase analisar dados de medições em tempo real, obtidas a partir de equipamentos de medição inteligente, que se encontram disponibilizados em datasets online. Dada a complexidade de obter medições de uma comunidade de consumidores finais, foi preciso selecionar dados de consumo e gerar o perfil de geração solar de acordo com o perfil de consumo de cada consumidor.

Foram identificados três perfis de consumo de edifícios residenciais e três perfis de consumo de edifícios de serviços. Os perfis de consumo dos edifícios residenciais foram adquiridos em (UK Power Networks, 2015), estes dados incluem leituras de consumo de energia de uma amostra de 5567 residências de Londres entre novembro de 2011 e fevereiro de 2014, em KWh (quilowatt por meia hora). São disponibilizados também informações de data e hora, assim como a identificação de cada residência.

Os perfis de consumo dos edifícios de serviço foram obtidos de (IEEE Power & Energy Society, 2015), este conjunto de dados detêm leituras de consumo de energia de um edifício de escritórios universitário, entre 11 de julho de 2014 e 17 de julho de 2014 com um período de amostragem de 10 segundos. São disponibilizados dados das diferentes cargas de consumo do edifício, assim como as cargas totais instantâneas de cada compartimento.

Os perfis de consumo dos edifícios residenciais foram tidos como referência para a geração da comunidade de consumidores de serviços, que por sua vez tem uma taxa de amostragem de 10 segundos. De seguida foi necessário adaptar os dados de consumidores de serviço para serem compatíveis com os consumidores residenciais, que tem uma taxa de amostragem de 30 minutos. Desta forma, foi necessário fazer uma interpolação linear, para garantir a compatibilidade temporal das medições do consumo de ambos os edifícios (residenciais e serviços).

A partir destes dados, foi coletada uma amostra de medidores inteligentes num período onde a insolação solar é preponderante, de forma a garantir uma geração solar compatível com o período estudado, ou seja, após a seleção dos dados de consumo da amostra disponibilizada pelos datasets, foi selecionado um outro conjunto de dados (Open Data Sets PV Generation, 2013).

Este conjunto de dados que contém informação referente à instalação solar fotovoltaica, com uma Potência Máxima de Pico (PMP) de 200 W e com uma taxa de amostragem de 5 minutos no dia 17 de julho de 2013. Para além dos dados de geração solar, contém informações da rede elétrica (potência, corrente, tensão e frequência), temperatura ambiente e insolação solar entre outros.

Dada incerteza destes valores de insolação solar, foi apenas identificado um perfil de geração solar, sendo os restantes uma adaptação considerando os perfis de consumo dos diferentes utilizadores.

De forma a promover a transação de energia entre os consumidores da comunidade através do excedente de energia gerada, após fazer face às suas necessidades energéticas definiu-se a instalação dos seguintes números de painéis solares fotovoltaicos:

- **Consumidor Residencial 1** – 1 Painel Fotovoltaico (PMP 200W);
- **Consumidor Residencial 2** – 3 Painéis Fotovoltaicos (PMP 600W);
- **Consumidor Residencial 3** – 5 Painéis Fotovoltaicos (PMP 1000W);
- **Consumidor de Serviços 1** – 10 Painéis Fotovoltaicos (PMP 2000W);
- **Consumidor de Serviços 2** – 12 Painéis Fotovoltaicos (PMP 2400W);
- **Consumidor de Serviços 3** – 15 Painéis Fotovoltaicos (PMP 3000W).

Em seguida, na Figura 15 são representados os perfis de consumo e geração solar, acumulado consoante o tipo de consumidor selecionado e descritos anteriormente. Estes perfis foram relevantes no sentido de implementar o simulador com as novas condições funcionais e os diferentes modelos de simulação.

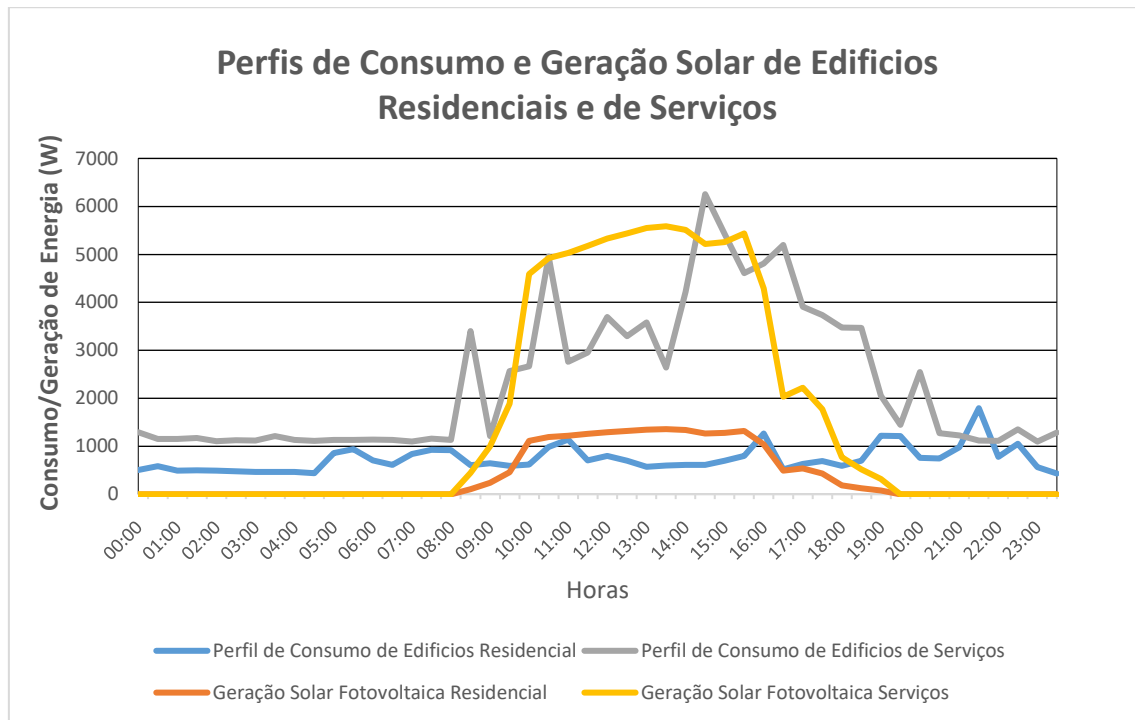


Figura 15 - Perfil de Consumo e Geração Solar de Edifícios Residenciais e de Serviços

Para os modelos de simulação descritos na Tabela 2 e considerando o tratamento de dados descrito anteriormente, definiram-se as tarifas de energia a ter em conta. A tarifa definida foi a tarifa bi-horária para a hora legal de verão para uma potência contratada de 6,9 kVA (Tarifas de acesso à rede de eletricidade, 2022).

Os preços de compra da energia proveniente do retalho, definiu-se que o preço seria igual à tarifa pré-definida no período, sendo o preço de venda ao retalho 50% do preço de aquisição da energia. Por outro lado, o preço da energia negociada entre os consumidores finais será a média entre estes dois preços. (Ex: Tarifa de compra da energia ao retalho: 0,20 Euros/kWh, Tarifa de venda da energia ao retalho: 0,10 euros/kWh e Tarifa do preço da energia transativa: 0,15 euros/kWh).



# 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS CASOS DE ESTUDO

- 4.1 Descrição dos Sistemas de Rede Elétrica e dos Casos de Estudo
- 4.2 Análise e Comparação dos Resultados dos Casos de Estudo
- 4.3 Discussão dos Resultados



## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS CASOS DE ESTUDO

### 4.1 Descrição dos Sistemas de Rede Elétrica e dos Casos de Estudo

Com os dados selecionados que se encontram descritos no subcapítulo 3.2.2, considerando as suas condições funcionais e não funcionais estabelecidas, definiram-se os três casos de estudo com o objetivo de analisar os ganhos e perdas a nível da rede elétrica inteligente, em contrapartida com a rede elétrica tradicional, do ponto de vista económico, introduzindo comércio de energia entre consumidores finais, ou seja a comparação entre a rede elétrica convencional e a rede elétrica inteligente com a incorporação da energia transativa. Estas tipologias de rede elétricas são definidas como:

- **Rede Elétrica Tradicional**<sup>42</sup> - Os consumidores consomem a energia oriunda da rede e pagam-na diretamente ao retalho<sup>43</sup>;
- **Rede Elétrica Inteligente**<sup>44</sup> - Os consumidores consomem a energia produzida através de uma fonte de energia solar fotovoltaica e vendem o excedente aos restantes vizinhos da comunidade. Posteriormente, uma vez supridas as suas necessidades energéticas, o excedente é vendido diretamente ao retalho.

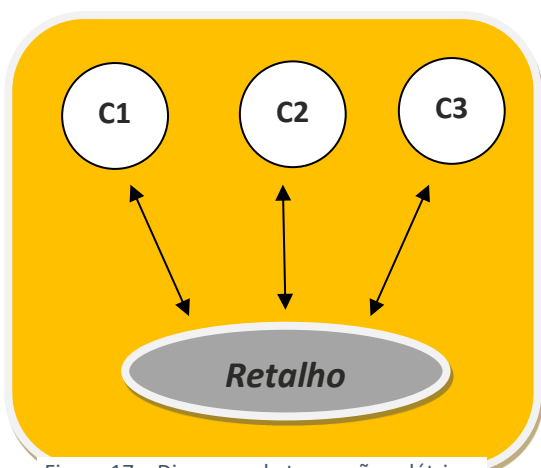


Figura 17 – Diagrama de transações elétricas na rede elétrica tradicional

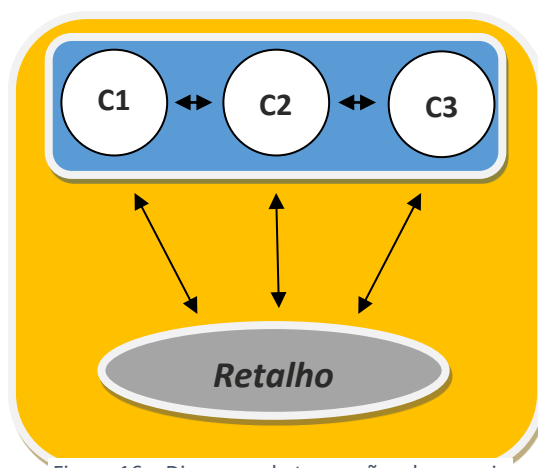


Figura 16 – Diagrama de transações de energia na rede elétrica inteligente

**Nota:** C1 – Consumidor 1; C2 – Consumidor 2; C3 – Consumidor 3;

Zona Azul – Transações Consumidor-Consumidor; Zona Amarela – Transações Consumidor-Retalho ;

<sup>42</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *grid*

<sup>43</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *retailer*

<sup>44</sup> Tradução da designação anglo-saxónico *smart grid*

Com recurso ao simulador com as melhorias descritas em 3.1, realizaram-se três casos de estudo através de simulações variantes, tendo em conta os modelos de simulação definidos em **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Os três casos de estudo d efinidos e simulados para uma posterior análise serão descritos seguidamente:

- **Caso de Estudo 1 - Com Autoconsumo:**

Neste caso de estudo realizou-se uma simulação, tendo em conta, os cenários definidos na Tabela 3, com a tarifa de eletricidade bi-horária. Desta forma priorizou-se o autoconsumo dos consumidores finais, fazendo variar a flexibilidade. Posto isto, nos períodos em que a produção preenche as necessidades energéticas, o excedente de energia é transacionado por via de negociação entre os consumidores mais próximos e revendida ao mercado retalhista.

Nº	Cenários de Simulação	Tarifário de Eletricidade
1	Simulação com autoconsumo	Tarifa bi-horária diária da EDP Comercial (Tarifas de acesso à rede de eletricidade, 2022) <sup>45</sup>
2	Simulação com autoconsumo e a totalidade da flexibilidade	
3	Simulação com autoconsumo e 50% dos consumidores com flexibilidade	
4	Simulação com autoconsumo a totalidade dos consumidores com 50% flexibilidade	
5	Simulação com autoconsumo e 20% dos consumidores com 30% da flexibilidade	
6	Simulação com autoconsumo e 70% dos consumidores com 60% da flexibilidade	

Tabela 3 - Cenários de Simulação - Caso de Estudo 1

<sup>45</sup> <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>

- **Caso de Estudo 2 – Apenas Autoconsumo da Comunidade:**

Neste caso de estudo realizou-se uma simulação, tendo em conta os cenários definidos na seguinte Tabela 4, com a tarifa de energia diária bi-horária, partindo-se do princípio de que a necessidade energética dos consumidores finais seria proveniente da produção elétrica destes (apenas autoconsumo), fazendo variar a flexibilidade. O excedente de energia produzida é transacionado através da negociação entre os consumidores finais e não é revendida ao mercado retalhista.

Nº	Cenários de Simulação	Tarifário de Eletricidade
<b>1</b>	Simulação apenas com autoconsumo da comunidade	Tarifa bi-horária diária da EDP Comercial (Tarifas de acesso à rede de eletricidade, 2022) <sup>46</sup>
<b>2</b>	Simulação apenas com autoconsumo da comunidade e a totalidade da flexibilidade	
<b>3</b>	Simulação apenas com autoconsumo da comunidade e 50 % dos consumidores com flexibilidade	
<b>4</b>	Simulação apenas com autoconsumo da comunidade e a totalidade dos consumidores com 50% de flexibilidade	
<b>5</b>	Simulação apenas com autoconsumo da comunidade e 20 % dos consumidores com 30 % da flexibilidade	
<b>6</b>	Simulação apenas com autoconsumo da comunidade e 70 % dos consumidores com 60 % da flexibilidade	

Tabela 4 - Cenários de Simulação - Caso de Estudo 2

<sup>46</sup> <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>

- **Caso de Estudo 3 - Com maior preponderância solar:**

Neste caso de estudo realizou-se uma simulação semelhante ao caso de estudo 1, com a particularidade de existir o aumento dos consumidores finais, através da geração de pseudo-perfis por cada um dos 6 perfis base (3 perfis de consumo e 3 perfis de produção), constituindo assim um total de 51 consumidores finais. Ou seja, 6 perfis base de consumo e geração, mais os 45 perfis gerados (10 pseudo-perfis de consumo e geração por cada consumidor residencial e 5 pseudo-perfis de consumo e geração por cada consumidor de serviços).

Para os cenários simulados realizou-se uma análise tendo em conta dois panoramas de consumo e geração solar, que se encontram descritos na seguinte Tabela 5 e representado na Figura 18.

Panorama	Descrição	Consumo	Geração Solar	Excedente
<b>P1</b> <b>(00h00- 08h00)</b> <b>(19h30-23h30)</b>	Nesta situação o consumidor consome a energia diretamente da rede, sem geração de energia.	Sim	Não	Não Existe
<b>P2</b> <b>(08h30 – 19h30)</b>	Nesta situação o consumidor adquire a energia diretamente da rede para consumo, com a particularidade de possuir energia produzida, que dependendo do cenário o excedente pode ou não, ser transacionado para os consumidores mais próximos.	Sim	Sim	Pode. Existir

Tabela 5 - Panoramas de Consumo e Geração

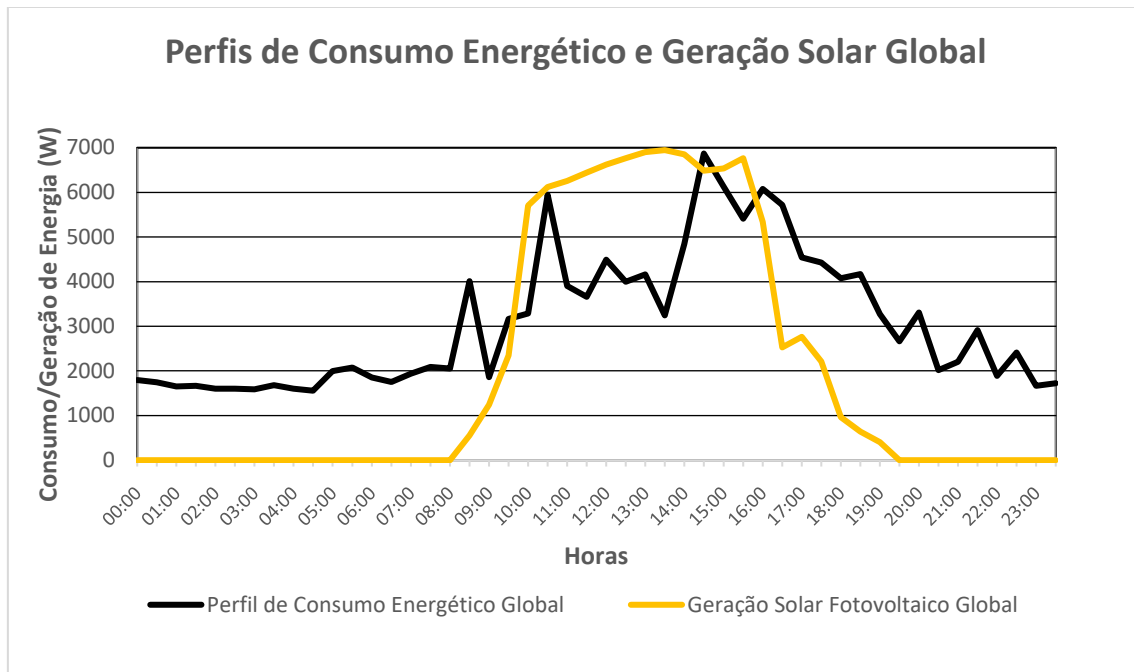


Figura 18 - Perfil de Consumo e Geração Global

## 4.2 Análise e Comparação dos Resultados dos Casos de Estudo

### 4.2.1 Caso de Estudo 1 – Com Autoconsumo

Neste caso de estudo 1, foi realizada uma simulação onde os consumidores finais priorizam o autoconsumo e em seguida negociam entre os consumidores mais próximos o excedente da energia produzida, vendendo o restante excedente ao mercado retalhista. A simulação tem em conta os cenários apresentados na Tabela 3, considerando uma tarifa de eletricidade bi-horária de acordo com o período.

Neste sentido é possível verificar na Figura 19 e na Figura 20 o balanço de energético do ponto de vista monetário, resultado da simulação com e sem energia transativa, em dois panoramas distintos descritos na Tabela 5.

Na Figura 19 os gráficos representam o balanço final das transações feitas entre os consumidores finais e o mercado retalhista (retalho-consumidor-retalho), onde o ganho corresponde à energia paga pelos consumidores ao retalho derivado da aquisição da energia, e o pago corresponde à energia revendida ao retalho pelos consumidores finais após o autoconsumo.

Por outro lado, na Figura 20 os gráficos representam o balanço final das transações entre consumidores finais (consumidor-consumidor) e o mercado retalhista (consumidor-retalho), onde o ganho corresponde à energia paga pelos consumidores finais pela aquisição da energia, e o pago corresponde à energia revendida ao retalho após a negociação entre os consumidores finais do excedente de energia produzida.

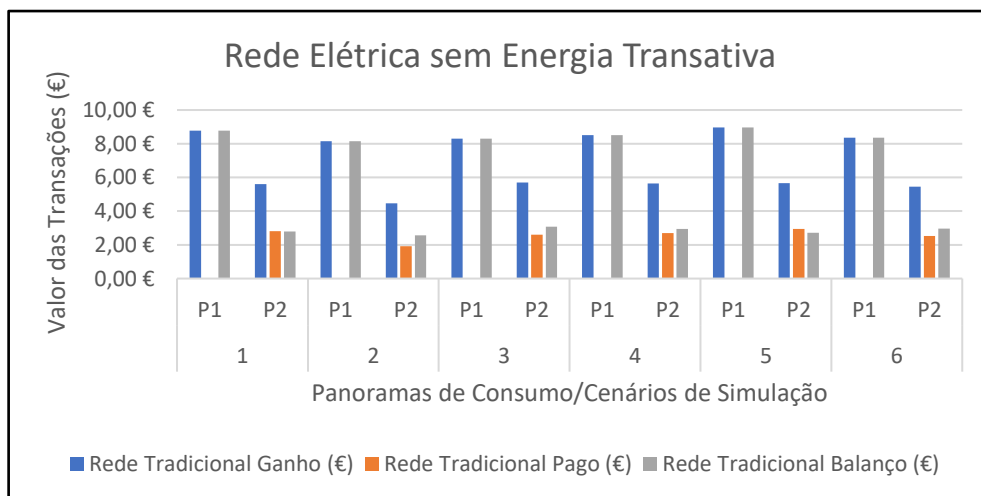


Figura 19 - Balanço da Rede Elétrica sem Energia Transativa - Caso de Estudo 1

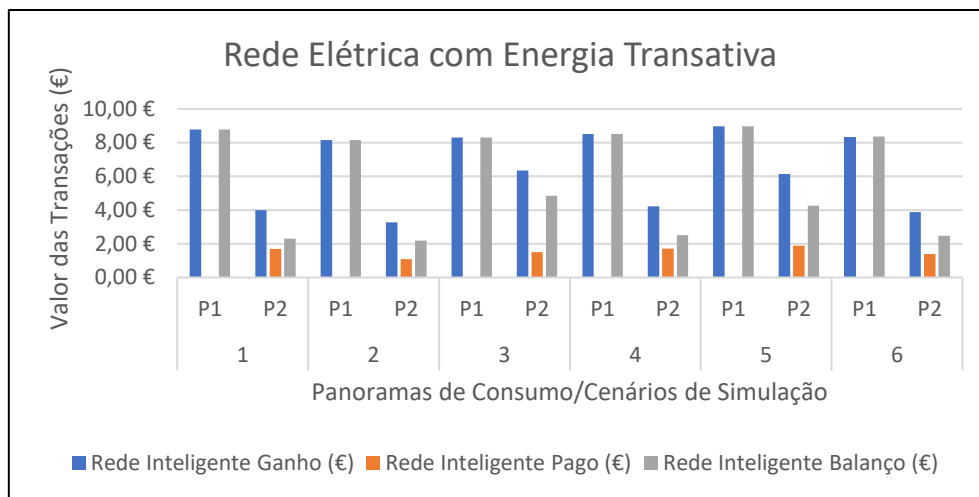


Figura 20 - Balanço da Rede Elétrica com Energia Transativa - Caso de Estudo 1

O cenário com menor custo para os consumidores finais, no sistema de rede elétrica tradicional (sem energia transativa) é o cenário nº2 - com autoconsumo e totalidade da flexibilidade, traduzindo-se num balanço de 10,704 Euros, considerando a soma dos panoramas 1 e 2. Este valor corresponde ao valor pago pelos consumidores finais ao mercado retalhista após o autoconsumo.

O mesmo sucede no sistema de energia elétrica inteligente (com energia transativa), com o resultado do balanço do cenário nº2 - com autoconsumo e totalidade da flexibilidade, onde o balanço se fixa nos 10,337 Euros.

Este valor corresponde ao preço pago pelos consumidores finais ao mercado retalhista após o autoconsumo, e venda do excedente de energia aos consumidores mais próximos, revendendo posteriormente o restante ao mercado retalhista.

Este menor custo deve-se ao facto de os consumidores finais fazerem uso da totalidade da flexibilidade.

Em comparação direta de ambos os sistemas de energia elétrica, verifica-se que ocorreu um decréscimo de 3% do valor pago pelos consumidores finais com o uso da energia transativa à rede inteligente, em relação à rede elétrica tradicional sem o uso da energia transativa.

#### 4.2.2 Caso de Estudo 2 – Apenas Autoconsumo na Comunidade

Neste caso de estudo foi realizada uma simulação onde os consumidores finais priorizam o autoconsumo, contudo o seu excedente de energia produzida não é revendido no mercado retalhista. A simulação tem em consideração os cenários presentes na Tabela 4, e uma tarifa de eletricidade bi-horária de acordo com o período.

Neste sentido é apresentado na Figura 21 e na Figura 22 o balanço de energético do ponto de vista monetário, resultado da simulação com e sem energia transativa, em dois panoramas distintos descritos na Tabela 5.

Na Figura 21 os gráficos representam o balanço final das transações feitas entre os consumidores finais e o mercado retalhista (retalho-consumidor), onde o ganho corresponde à energia paga ao retalho pela aquisição da energia, que por sua vez será o resultado do balanço uma vez que a energia excedente não é revendida ao mercado retalhista, ou seja, as transações apenas se dão em um sentido.

Por outro lado, na Figura 22 os gráficos representam o balanço final das transações entre consumidores finais e o mercado retalhista (retalho-consumidor-consumidor), onde o ganho corresponde à energia paga pelos consumidores finais ao retalho pela aquisição da energia, após a negociação entre os consumidores finais do excedente de energia produzida, sem que esta seja revendida ao mercado retalhista.

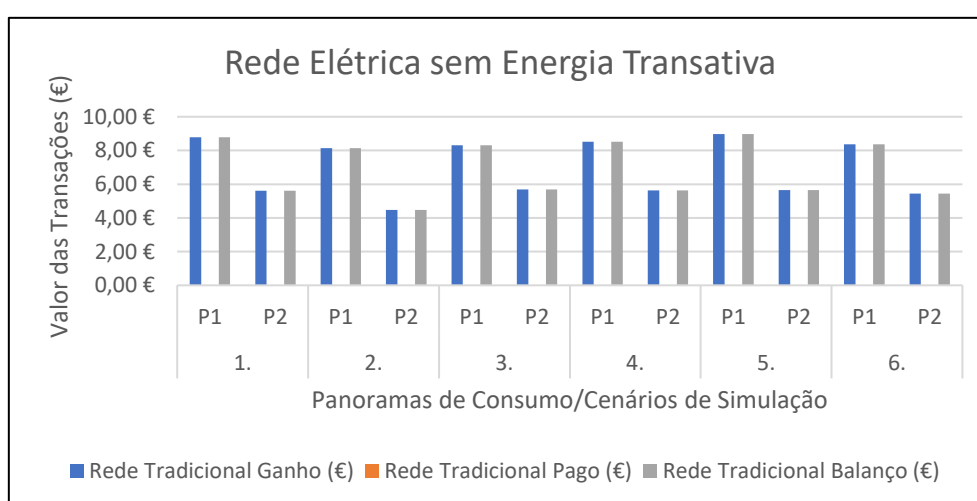


Figura 21 - Balanço da Rede Elétrica sem Energia Transativa - Caso de Estudo 2

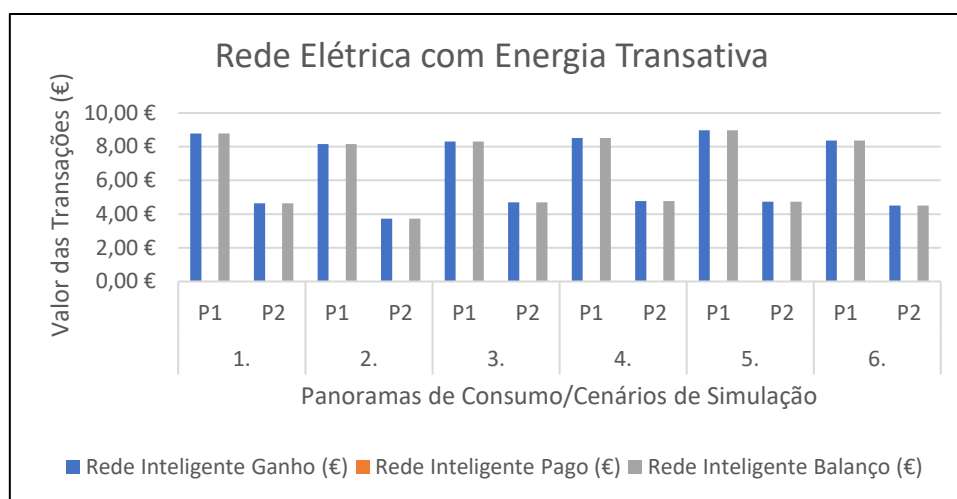


Figura 22 - Balanço da Rede Elétrica com Energia Transativa - Caso de Estudo 2

O cenário com menor custo para os consumidores finais, no sistema de rede elétrica tradicional (sem energia transativa) é o cenário nº2 - com autoconsumo e a totalidade da flexibilidade, traduzindo-se num balanço de 12,618 Euros considerando a soma dos panoramas 1 e 2. Neste caso de estudo, como a energia não é revendida ao retalho, este valor é igual a zero, correspondendo assim o balanço ao valor pago pelos consumidores finais ao mercado retalhista pela aquisição da energia elétrica sem a revenda ao retalho.

O mesmo ocorre no sistema de energia elétrica inteligente (com energia transativa), com o resultado do balanço do cenário nº2, onde o balanço se fixa nos 11,882 Euros. Este valor corresponde ao montante pago pelos consumidores finais pela aquisição da energia após o autoconsumo, e venda do excedente de energia aos consumidores mais próximos, sem que posteriormente seja revendido o remanescente ao mercado retalhista, pelo que o valor pago aos consumidores finais é igual a zero.

Este menor custo deve-se ao facto de os consumidores finais fazerem uso da totalidade da flexibilidade.

Em comparação direta de ambos os sistemas de energia elétrica, verifica-se que ocorreu um decréscimo de 6% do valor pago pelos consumidores finais com o uso da energia transativa à rede inteligente, em detrimento da rede elétrica tradicional sem o uso da energia transativa.

### 4.2.3 Caso de Estudo 3 – Com Maior Preponderância Solar

Neste caso de estudo realizou-se uma simulação, tendo como objetivo a ampliação da comunidade, aumentando assim a preponderância solar e autoconsumo no sistema de energia elétrica, uma vez que todos os constituintes da comunidade estão munidos de fonte de energia solar fotovoltaica.

Neste sentido, a comunidade passa a ser constituída por 51 consumidores finais com o aumento da comunidade, estes priorizam o autoconsumo da energia produzida, sendo o excedente revendido ao mercado retalhista. Este aumento da comunidade permite que sejam realizadas mais transações de energia entre os consumidores finais, e que ocorra um aumento dos ganhos quer para a rede elétrica, quer para os consumidores finais. A simulação tem em consideração os cenários presentes na Tabela 4, e uma tarifa de eletricidade bi-horária de acordo com o período.

Na Figura 23 e Figura 24 encontra-se representado o balanço energético do ponto de vista monetário, resultado da simulação com e sem energia transativa, em dois panoramas descritos na Tabela 5.

Na Figura 23 os gráficos representam o balanço final das transações feitas entre os consumidores finais e o mercado retalhista (retalho-consumidor-retalho), onde o ganho corresponde à energia paga pelos consumidores ao retalho derivado da aquisição da energia, e o pago corresponde à energia revendida ao retalho pelos consumidores finais após o autoconsumo.

Em sentido contrário, na Figura 24 os gráficos representam o balanço final das transações entre consumidores finais e o mercado retalhista (retalho-consumidor-consumidor), onde o ganho corresponde à energia paga pelos consumidores finais ao retalho pela aquisição da energia, após a negociação entre os consumidores finais do excedente de energia produzida, sem que esta seja revendida ao mercado retalhista.

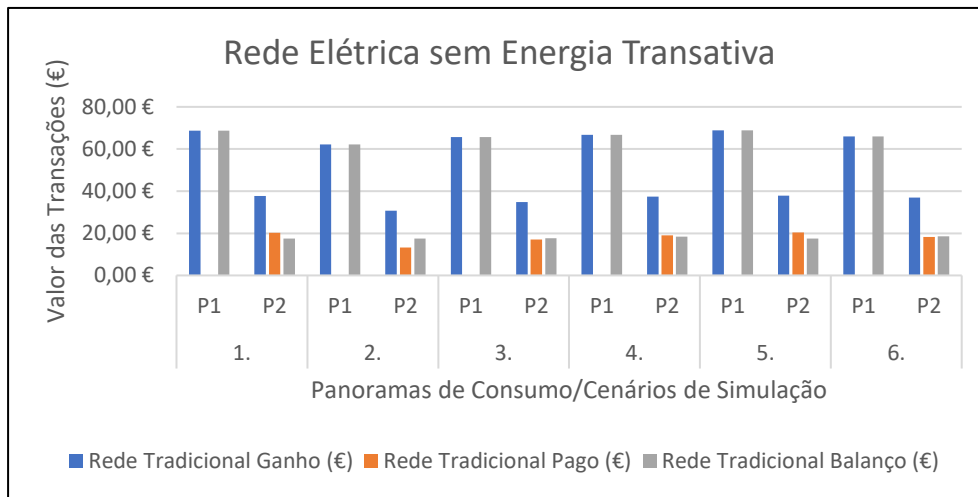


Figura 23 - Balanço da Rede Elétrica sem Energia Transativa - Caso de Estudo 3

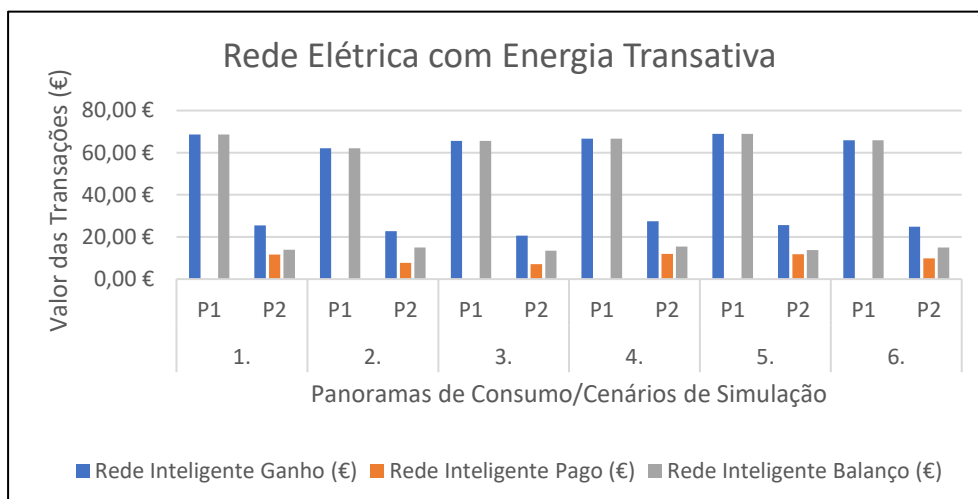


Figura 24 - Balanço da Rede Elétrica com Energia Transativa - Caso de Estudo 3

O cenário com menor custo para o conjunto de consumidores finais, no sistema de rede elétrica tradicional (sem energia transativa) é o cenário nº2 - com autoconsumo e totalidade da flexibilidade, traduzindo-se num balanço de 79,622 Euros tendo em conta o somatório dos panoramas 1 e 2. Neste caso de estudo, devido ao aumento do número de consumidores finais, irá ocorrer um aumento das necessidades energéticas e consequente aumento da capacidade de geração solar.

No sistema de energia elétrica inteligente (com energia transativa), o cenário mais favorável para os consumidores é cenário nº2, onde o balanço se fixa nos 77,214 Euros. Este valor corresponde à quantia paga pelos consumidores finais pela aquisição da energia, após o autoconsumo e a venda do excedente aos consumidores mais próximos, sendo posteriormente revendida ao mercado retalhista.

Este custo mais favorável para os consumidores finais deve-se ao facto de fazerem uso da totalidade da flexibilidade.

Em comparação direta de ambos os sistemas de energia elétrica, verifica-se que ocorreu um decréscimo de 3% do valor pago pelos consumidores finais com o uso da energia transativa à rede inteligente, em detrimento da rede elétrica tradicional sem o uso da energia transativa.

### 4.3 Discussão dos Resultados

Nesta secção encontra-se representado na Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8, o resumo dos balanços monetários das transações feitas entre (Consumidor-Retalho) no caso da não utilização da energia transativa e entre ( Consumidor-Consumidor), em caso da utilização da energia transativa, fazendo variar o uso da flexibilidade nos diversos cenários de simulação.

Sistema de Rede		Rede Elétrica sem Energia Transativa			Rede Elétrica com Energia Transativa		
Cenários	Panorama	Rede Tradicional			Rede Inteligente		
		Ganho (€)	Pago (€)	Balanço (€)	Ganho (€)	Pago (€)	Balanço (€)
1.	P1	8,776	0,000	8,776	8,776	0,000	8,776
	P2	5,605	2,813	2,791	3,998	1,695	2,303
2.	P1	8,147	0,000	8,147	8,147	0,000	8,147
	P2	4,471	1,914	2,557	3,271	1,081	2,190
3.	P1	8,306	0,000	8,306	8,306	0,000	8,306
	P2	5,689	2,603	3,086	6,351	1,503	4,848
4.	P1	8,515	0,000	8,515	8,515	0,000	8,515
	P2	5,639	2,692	2,947	4,220	1,707	2,513
5.	P1	8,970	0,000	8,970	8,970	0,000	8,970
	P2	5,658	2,948	2,709	6,143	1,886	4,257
6.	P1	8,357	0,000	8,357	8,357	0,000	8,357
	P2	5,448	2,526	2,962	3,870	1,399	2,471

Tabela 6 - Resumo do Caso de Estudo 1 - Com Autoconsumo

Sistema de Rede		Rede Elétrica sem Energia Transativa			Rede Elétrica com Energia Transativa		
Cenários	Panorama	Rede Tradicional			Rede Inteligente		
		Ganho (€)	Pago (€)	Balanço (€)	Ganho (€)	Pago (€)	Balanço (€)
1.	P1	8,776	0,000	8,776	8,776	0,000	8,776
	P2	5,605	0,000	5,605	4,630	0,000	4,630
2.	P1	8,147	0,000	8,147	8,147	0,000	8,147
	P2	4,471	0,000	4,471	3,735	0,000	3,735
3.	P1	8,306	0,000	8,306	8,306	0,000	8,306
	P2	5,689	0,000	5,689	4,705	0,000	4,705
4.	P1	8,515	0,000	8,515	8,515	0,000	8,515
	P2	5,639	0,000	5,639	4,770	0,000	4,770
5.	P1	8,970	0,000	8,970	8,970	0,000	8,97
	P2	5,658	0,000	5,658	4,725	0,000	4,725
6.	P1	8,357	0,000	8,357	8,357	0,000	8,357
	P2	5,448	0,000	5,448	4,505	0,000	4,505

Tabela 7 - Resumo do Caso de Estudo 2 - Apenas com Autoconsumo na Comunidade

Sistema de Rede		Rede Elétrica sem Energia Transativa			Rede Elétrica com Energia Transativa		
Cenários	Panorama	Rede Tradicional			Rede Inteligente		
		Ganho (€)	Pago (€)	Balanço (€)	Ganho (€)	Pago (€)	Balanço (€)
1.	P1	68,629	0,000	68,629	68,629	0,000	68,629
	P2	37,677	20,168	17,510	25,527	11,629	13,898
2.	P1	62,180	0,000	62,180	62,18	0,000	62,18
	P2	30,706	13,264	17,442	22,781	7,747	15,034
3.	P1	65,596	0,000	65,596	65,596	0,000	65,596
	P2	34,765	17,103	17,662	20,589	7,079	13,51
4.	P1	66,729	0,000	66,729	66,729	0,000	66,729
	P2	37,385	18,997	18,388	27,391	12,000	15,391
5.	P1	68,881	0,000	68,881	68,881	0,000	68,881
	P2	37,844	20,392	17,452	25,598	11,791	13,807
6.	P1	65,907	0,000	65,907	65,907	0,000	65,907
	P2	36,917	18,309	18,607	24,844	9,877	14,967

Tabela 8 - Resumo de Caso de Estudo 3 - Com maior preponderância solar

Nos três casos de estudo realizados verificou-se que no caso de estudo 2 – com autoconsumo na comunidade, ocorreu um maior decréscimo (6%) dos ganhos do ponto de vista da rede elétrica, com uso de energia transativa e a totalidade da flexibilidade.

Estes resultados resumem o impacto da energia transativa quer do ponto de vista económico da rede elétrica, quer do ponto de vista dos consumidores finais. Por outro lado, o uso de energia transativa também é benéfico para os consumidores finais, uma vez que o seu custo será menor aliado da capacidade de flexibilidade. A sua intervenção no mercado de energia permitirá otimizar os processos de fornecimento de eletricidade, e por sua vez aumentar a fiabilidade e a sua eficiência.

## 5. CONCLUSÕES

- 5.1 Conclusões
- 5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros



## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

A implementação de redes elétricas inteligentes com a energia transativa no sistema elétrico atual, irá permitir aos consumidores finais ter um papel mais interventivo no mercado de energia. A adaptação dos perfis de produção aos perfis de consumo, possibilita que sejam satisfeitas as necessidades energéticas de todos os intervenientes da comunidade, através das suas transações/negociações de energia (energia transativa), que por sua vez irão induzir uma redução dos custos para a comunidade. Também a alteração dos perfis de consumo por via da flexibilidade energética facilita a redução de custos para os consumidores finais, contudo estes custos podem variar dependendo da tipologia da tarifa horária a que estão submetidos.

Neste seguimento, conceitos como gestão no lado da procura, resposta à procura e energia transativa são metodologias a aplicar futuramente nas redes elétricas, numa perspetiva global. De forma a garantir o equilíbrio entre a produção e o consumo, sem comprometer a capacidade de fornecimento de energia, estas aplicações são vistas como uma solução com bastante valor para otimizar o sistema de energia e por sua vez irá aumentar a fiabilidade e eficiência da rede elétrica.

Na sequência dos objetivos definidos inicialmente (1.2 Objetivos da Dissertação), no seguimento do *OBJ1* foi efetuada uma pesquisa (2), referente a temas de elevada relevância científica, tais como as transformações que têm vindo a ser executadas na rede elétrica, que vão ao encontro dos objetivos estipulados pelas entidades responsáveis pelas políticas ambientais e energéticas que visam temas como: o aquecimento global, os gases efeito estufa e a integração energias renováveis nas redes elétricas.

Para compreender da melhor forma as necessidades da rede elétrica foi realizada uma comparação das características das rede elétricas inteligentes e da rede elétrica tradicional, onde as primeiras são vistas como uma alternativa face ao sistema tradicional, pois recorrem à tecnologia de automação de forma a garantir um funcionamento harmónico, desde a produção de energia ao consumo pelos utilizadores

finais. A incorporação dos consumidores finais no mercado energético através da energia transativa é vista como uma solução para garantir o bom funcionamento da rede elétrica. Os seus comportamentos podem influenciar o equilíbrio entre a procura e a oferta de energia, através da redução do seu consumo recorrendo a técnicas de GPL e participando em programas de RP.

Esta pesquisa permitiu aferir as complexidades existentes na rede elétrica tradicional, e cumprir com o *OBJ2* e *OBJ3* (1.2 Objetivos da Dissertação) definidos como a recolha de dados referentes a perfis de consumo de energia e perfis de geração, através de produção solar fotovoltaica, de consumidores do tipo de residencial e de serviços, para posterior análise da informação contida no conjunto de dados presente na secção 3.

No âmbito desta dissertação foram definidas as novas funcionalidades a acrescentar num simulador, com a participação ativa dos utilizadores finais, após a análise das funcionalidades já existentes.

Posto isto, com o intuito de cumprir com o *OBJ4* e *OBJ5* (1.2 Objetivos da Dissertação) definidos inicialmente, foi implementada a capacidade de os consumidores finais fazerem parte do mercado energético, fazendo uso da energia transativa. Os consumidores finais realizam negociações de energia entre eles, do excedente da produção solar, sendo o restante devolvido ao mercado retalhista, tendo em conta os cenários de simulação definidos, presentes na secção 3.

Na secção 4 foi realizada uma descrição e análise dos sistemas de energia (com e sem energia transativa), definindo três casos de estudo relevantes, considerando uma tarifa bi-horária de consumo dos consumidores e os cenários de simulação estipulados, fazendo cumprir com o *OBJ6* (1.2 Objetivos da Dissertação).

Em suma, os resultados das simulações corroboram a necessidade de recorrer a redes inteligentes com energia transativa e de aumentar o consumo de energia, através de tecnologias de fontes de energias renováveis. O recurso a estas tecnologias, para além de reduzir a pegada de carbono no planeta terra, permite que seja feita uma melhor gestão da rede elétrica, garantindo um melhor equilíbrio entre o consumo e produção, aumentando a qualidade de fornecimento de energia, culminando numa redução de custos para todos os intervenientes.

## 5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

O trabalho desenvolvido nesta dissertação permitiu abrir um novo horizonte para a implementação de sistemas de energia de redes elétricas inteligentes, e de que forma todos os seus intervenientes podem beneficiar da utilização de formas mais sustentáveis como são as energias renováveis.

Apesar dos avanços tecnológicos e pesquisas referentes aos RED, esta ainda apresenta bastantes questões associadas à sua utilização, contudo este tema nos dias de hoje deverá ser profundamente explorado, pois a guerra presente na europa entre a Rússia e Ucrânia e a limitação dos recursos energéticos resultantes deste conflito, deve levar a população a repensar e refletir sobre as formas de consumo energético, nomeadamente energias alternativas, para garantir a autossuficiência em tempos de crise energética.

Neste sentido, esta dissertação propõe um sistema de energia transativa autossuficiente, que deve ser explorada no âmbito da transição energética atual.

A sugestão de trabalho futuro passa por investigar o impacto das perdas energéticas do sistema de energia. Deve ser realizada uma análise do ponto de vista energético, de forma a validar a eficiência e qualidade do fornecimento da energia, com o intuito de verificar possíveis falhas de fornecimento no sistema de distribuição, comparando um sistema de energia transativa com um sistema de energia tradicional.



## 6. BIBLIOGRAFIA



## 6 BIBLIOGRAFIA

- Black , S., Parry, I., Roaf, J., & Zhunussova, K. (2021). IMF Staff Climate Note 2021/005, International Monetary Fund. *Not Yet on Track to Net Zero: The Urgent Need for Greater Ambition and Policy Action to Achieve Paris Temperature Goal*.
- Iweh, C., Gyamf, S., Tanyi, E., & Effah-Donyina, E. (2021). Distributed Generation and Renewable Energy Integration into the Grid: Prerequisites, Push Factors, Practical Options, Issues and Merits. *Energies 2021*. Obtido de <https://doi.org/10.3390/en14175375>
- M. B. Matos, D., & João P. S. Catalão, J. (2013). Geração Distribuída e os seus Impactes no Funcionamento da Rede Elétrica: Parte 1. doi:10.13140/RG.2.1.4907.5048
- Silva, C., Faria, P., & Vale , Z. (2019). Demand Response and Distributed Generation Remuneration Approach Considering Planning and Operation Stages. *Energies*, 12, 2721. doi:10.3390/en12142721
- Abrishambaf, O., Lezama , F., Faria, P., & Vale, Z. (2019). Towards transactive energy systems: An analysis on current trends. *Energy Strategy Reviews*, 26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100418>
- AEA - Pacto Ecológico Europeu. (2021). Obtido de [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_pt](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pt)
- Andrade, A. (2019). Energias renováveis e os prosumers na União Europeia. *Revista Videre*, 11, 185-206. doi:10.30612/videre.v11i22.10519
- APA - Acordo de Paris. (s.d.). Obtido de Agência Portuguesa do Ambiente: <https://apambiente.pt/clima/acordo-de-paris>
- APA - Protocolo de Quioto. (s.d.). Obtido de Agência Portuguesa do Ambiente: <https://apambiente.pt/clima/protocolo-de-quioto>
- APREN. (2021). *Associação Portuguesa de Energias Renováveis*. Obtido de <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- Archana, Shankar, R., & Singh, S. (2022). Development of smart grid for the power sector in India. *Cleaner Energy Systems*, 2. doi:[doi:doi.org/10.1016/j.cles.2022.100011](https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100011)
- Automação e a Rede Inteligente (Smart Grid): Gestão de Energia*. (2011). Obtido de [http://documents.opto22.com/1914P\\_Portuguese\\_Automation\\_and\\_the\\_Smart\\_Grid\\_white\\_paper.pdf](http://documents.opto22.com/1914P_Portuguese_Automation_and_the_Smart_Grid_white_paper.pdf).
- Barnier, V., Boursier, S., Holzigel, J., Kamali, J., Majumder, D., & Peterschmidt, N. (2019). *Energy 4 Impact & INENSUS*. Obtido de Demand Side Management for Mini-grids: <https://energy4impact.org/file/2100/download?token=9k2uhkpD>
- Butt, O. M., Zulqarnain, M., & Butt , T. M. (2020). Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 687-695. doi:[doi:doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.004](https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.004).
- Caballero-Peña, J., Cadena-Zarate, C., & Osmá-Pinto, G. (2022). Hourly characterization of the integration of DER in a network from deterministic and probabilistic. *Alexandria Engineering Journal*, 283-305. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.005>.

- Chengoden, R., Srivastava, G., Alazab, M., Javed, A., Victor, N., Maddikunta, P., & Gadekallu, T. (2022). Incentive Mechanisms for Smart Grid: State of the Art, Challenges, Open Issues, Future Directions. *Big Data and Cognitive Computing*, 6, 47. doi:10.3390/bdcc6020047
- Decreto-Lei n.º 76/2019 de 3 de Junho. (s.d.). Obtido de [https://www.dgeg.gov.pt/media/tt5mjuzf/dl76\\_2019.pdf](https://www.dgeg.gov.pt/media/tt5mjuzf/dl76_2019.pdf).
- Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146, 2589-2625. doi:doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092.
- Dionysios Pramangioulis, K. A. (2019). A Methodology for Determination and Definition of Key Performance Indicators for Smart Grids Development in Island Energy Systems. *Energies 2019*. Obtido de <https://doi.org/10.3390/en12020242>
- Espe, E., Potdar, V., & Chang, E. (2018). Prosumer Communities and Relationships in Smart Grids: A Literature Review, Evolution and Future Directions. *Energies*, 11, 2528. doi: 10.3390/en11102528
- Fathy, A. (2019). Problem of Interconnecting of Renewable Energy to the Power Grid. doi:10.13140/RG.2.2.15029.63208
- Felgueiras, C., Martins, F., & Smitková, M. (2018). Fossil fuel energy consumption in European countries. *Energy Procedia*, 107-111.
- Fichas temáticas sobre a União Europeia – Energias Renováveis. (s.d.). Obtido de <https://www.europarl.europa.eu/>.
- Francisco, R. S. (2018). *Sistema Inteligente de Gestão de Armazenamento de Energia*. Tese de Mestrado, Lisboa. Obtido de [https://run.unl.pt/bitstream/10362/58919/1/Francisco\\_2018.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/58919/1/Francisco_2018.pdf)
- Garg, S., Arya, A., & Paliwal, P. (2015). A Compendious Study on Demand Side Management- An Indian Perspective. pp. 283-288. doi:10.1145/2768510.2768515.
- Gomes, L. (2020). *Perceção do utilizador final de energia sobre redes inteligentes e a sua participação ativa*. Universidade do Porto.
- Gomes, L., Faria, P., Pereira, H., Vale, Z., & Coelho, C. (2021). Web-based platform for the management of citizen energy communities and their members. *Energy Informatics*, 4. doi:doi.org/10.1186/s42162-021-00155-7
- Gomes, L., Spínola, J., Vale, Z., & Corchado, J. (2019). Agent-based architecture for demand side management using real-time resources' priorities and a deterministic optimization algorithm. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118154
- Hafner, M., & Raimondi, P. (2020). Priorities and challenges of the EU energy transition: From the European Green Package to the new Green Deal. *Russian Journal of Economics*, 374.
- Hirsch, A., Parag, Y., & Guerrero, J. (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 402-411.

- Honarmand, M. E. (2021). An Overview of Demand Response: From Its Origins to the Smart Energy Community. *IEEE POWER & ENERGY SOCIETY SECTION*, *PP*, 1-1. doi:10.1109/ACCESS.2021.3094090
- Huang, Q., Amin, W., Umer, K., Gooi, H. B., Eddy, F. S., Afzal, M., . . . Ahmad, S. A. (2021). A review of transactive energy systems: Concept and implementation. *Energy Reports*, *7*, 7804–7824. doi:doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.037.
- Huang, Q., Amin, W., Umer, K., Gooi, H. B., Eddy, S. F., Afzal, M., . . . Ahmad, S. A. (2021). A review of transactive energy systems: Concept and implementation.
- IEA. (2022). *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021*. Obtido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-emissions-from-energy-combustion-and-industrial-processes-1900-2021>
- IEA. (2022). *Renewable net capacity additions, 2019-2021*. Obtido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-net-capacity-additions-2019-2021>
- IEEE Innovation at Work*. (2021). Obtido de <https://innovationatwork.ieee.org/the-smart-grid-could-hold-the-keys-to-electric-vehicles/>
- IEEE Power & Energy Society*. (2015). Obtido de <https://site.ieee.org/pes-iss/data-sets>
- Kanakadhurga,, D., & Prabakaran, N. (2022). Demand side management in microgrid: A critical review of key issues and recent trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Longe, O., Rimer, S., Ouahada, K., & Ferreira, H. (2015). Time programmable smart devices for peak demand reduction of smart homes in a microgrid. *IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology, ICAST*.
- Marco Pasetti, S. R. (2018). A Virtual Power Plant Architecture for the Demand-Side Management of Smart Prosumers. *Applied Sciences*, *8*. doi:10.3390/app8030432.
- Moreira, L. (2020). *Avaliação do potencial de flexibilidade da procura de energia em cenários de elevada variabilidade na geração*. Tese de Mestrado, Leiria. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.8/5540>
- Morstyn, T., Farrell, N., & Darby, S. J. (2018). Using peer-to-peer energy-trading platforms to incentivize prosumers to form federated power. *Nature Energy*, *3*, 94-101.
- O. M. Longe, S. R. (2015). Time Programmable Smart Devices for Peak Demand Reduction of Smart Homes in a Microgrid. *IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology, ICAST, 2015*. doi:10.1109/ICASTECH.2014.7068114
- Open Data Sets PV Generation*. (2013). Obtido de IEEE Dat Port: <https://site.ieee.org/pes-iss/data-sets/#pvge>
- Panda, S., Mohanty, S., & Rout, P. K. (2022). Residential Demand Side Management model, optimization and future perspective: A review. *Energy Reports*. doi:10.1016/j.egy.2022.02.300

- PNEC. (2019). *PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030) - Portugal*. Obtido de <https://bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2020/12/PNEC-2030-Plano-Nacional-Energia-e-Clima.pdf>
- Shengfei , Y., Wang, J., & Qiu, F. (2019). Decentralized electricity market with transactive energy – A path forward. *The Electricity Journal*, 32, 7-13. doi:doi.org/10.1016/j.tej.2019.03.005.
- T. Ponds, K., Arefi, A., A. S., & Ledwich, G. (2018). Aggregator of Demand Response for Renewable Integration and Customer Engagement: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats. *Energies*, 11, 2391. doi:10.3390/en11092391
- Tarifas de acesso à rede de eletricidade*. (2022). Obtido de Tarifários de Eletricidade - EDP Comercial: <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>
- UK Power Networks. (2015). *SmartMeter Energy Consumption Data in London Households*. Obtido de London DataStore: <https://data.london.gov.uk/dataset/smartmeter-energy-use-data-in-london-households>
- Vale , Z., Gomes , L., Pereira, H., Faia, R., & Faria , P. (2022). Incentive-based and Price-based Demand Response to Prevent Congestion in Energy Communities. *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering e IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*.
- Vale, Z., Canizes, B., & Silveira, V. (2022). Demand response and dispatchable generation as ancillary services to support the low voltage distribution network operation. *Energy Reports*, 8, 7-15. doi:doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.040
- Vale, Z., Faria, P., & Barreto, R. (2019). Demand Response in Energy Communities Considering the Share of Photovoltaic Generation from Public Buildings. *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, (pp. 1-6).
- Vale, Z., Faria, P., Ramos, S., Morais, H., & Fotouhi Ghazvini, M. (2015). Incentive-based demand response programs designed by asset-light retail electricity providers for the day-ahead market. *Energy*, 82, 786-799. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.090
- Vale, Z., Faria, P., Ramos, S., Soares, J., Foroozandeh, Z., & Tavares, I. (2021). Shared PV Production in Energy Communities and Buildings Context. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 19, 459-464.
- Vale, Z., Lezama, F., Soares, J., Hernandez-Leal, P., Kaisers, M., & Pinto, T. (2018). Local energy markets: Paving the path toward fully transactive energy systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1-1. doi:10.1109/TPWRS.2018.2833959
- Vale, Z., Soares, J., Castro, R., Ghazvini, M. F., & Abrishambaf, O. (2017). Demand response implementation in smart households. *Energy and Buildings*, 143. doi:10.1016/j.enbuild.2017.03.020
- Vale, Z., Vieira, M., Faia, R., & Lezama, F. (2022). A Sensitivity Analysis of PSO Parameters Solving the P2P Electricity Market Problem. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 1-7. doi: 10.1109/CEC55065.2022.9870290.

- Zandi, H., Kuruganti, T., A Vineyard, E., & Fugate, D. (2018). Home Energy Management Systems: An Overview. *Proceedings of the 9th international conference on energy efficiency in domestic appliances and lighting (EEDAL '17)*, (pp. 606-614).
- Zia, M. F., Sundhu, M. W., & Ali, M. (2016). Demand Side Management Proposed Algorithm for Cost and Peak Load Optimization. *2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, 1-5.



## 7. ANEXO

### 7.1 Anexo 1 – Tarifas de acesso à rede de Eletricidade (EDP Comercial)



## 7 ANEXO

### 7.1 Anexo 1 – Tarifas de acesso à rede de Eletricidade (EDP Comercial)<sup>47</sup>

Eletricidade

Eletricidade		Preço EDP
Potência (€/dia)		0.4192
Energia (€/kWh)	Normal	0.1815

Eletricidade

Eletricidade		Preço EDP
Potência (€/dia)		0.5370
Energia (€/kWh)	Normal	0.1865
	Económico	0.1669

<sup>47</sup> <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>