

## **6. O papel das CER no âmbito do sistema elétrico: digitalização/plataforma/enabler**

*José Basílio Simões*

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.109.7>

### **Digitalização e as Redes Elétricas do Futuro**

Evolução da rede tradicional para smart grid/digital grid

Os sistemas de transporte e distribuição de eletricidade foram projetados há mais de 100 anos e, desde então, foram sendo expandidos e melhorados apenas de uma forma incremental. Trata-se de sistemas verticalmente integrados, com a geração centralizada, e que serviram bem os tempos em que

a eficiência e a resiliência eram menos importantes, e em que não havia o recurso a fontes de energia renováveis.

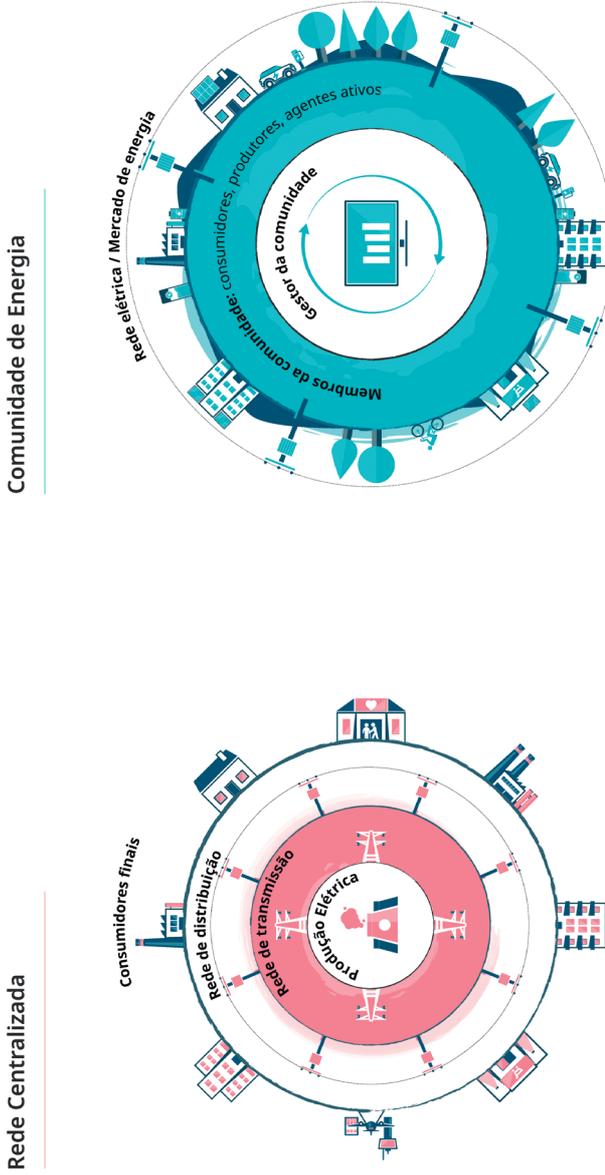
Todavia, para o cumprimento das metas de descarbonização é fundamental alterar finalmente este modelo, evoluindo para redes elétricas mais complexas, multidirecionais, preparadas para a integração de fontes de energia renovável de forma distribuída (*DER – Distributed Energy Resources*) e para uma crescente eletrificação de todos os sectores da economia.

As Comunidades de Energia Renovável, que têm como um dos princípios orientadores o equilíbrio entre a quantidade de eletricidade produzida e consumida numa zona geograficamente limitada, trazendo, portanto, a geração para muito mais perto do consumo, contribuem decisivamente para a gestão da rede elétrica, tornando-a potencialmente mais estável, segura e eficiente, com menores perdas - dada a inerente redução dos fluxos globais - e com a possibilidade de introdução de camadas de comando e controlo local, possibilitando uma otimização e gestão inteligente dos diversos recursos integrados.

De facto, conforme mais adiante se aprofundará, as Comunidades de Energia Renovável promovem uma gestão descentralizada da rede elétrica, resolvendo local e antecipadamente desequilíbrios cujas consequências poderiam de outra forma ser fortemente ampliadas. Se na zona de Coimbra tivermos uma maior concentração de veículos elétricos num determinado dia, a plataforma de gestão das Comunidades locais de Energia deverá atuar de acordo com esse evento, de forma distinta da plataforma de gestão da rede local na Guarda, onde uma menor intensidade associada à mobilidade elétrica, mas um maior consumo associado ao aquecimento possa existir. A digitalização permitirá uma gestão descentralizada da rede, suportando decisões locais desde que comunicadas antecipadamente aos sistemas centrais de gestão.

Esta evolução transformacional das redes elétricas, iniciada nos últimos 20 anos, apenas é possível com a integração de tecnologias de informação e comunicação, fazendo evoluir o modelo clássico de distribuição para um modelo de redes inteligentes (*smart grids*) as quais terão de continuar a evoluir para uma verdadeira rede digital (*digital grid*).

A rede digital corresponde à digitalização das redes elétricas usando tecnologias avançadas permitindo comunicação bidirecional entre a rede, os consumidores, os produtores e as várias entidades envolvidas na sua operação e manutenção: *Transmission System Operator* (TSO), *Distribution System*



**Figura 1** Evolução da rede tradicional, centralizada, para a nova rede elétrica digital, descentralizada e focada em Comunidades Locais de Energia.

*Operator* (DSO) e o Comercializador, entre outros agentes de mercado, como sejam o Agregador, a Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo (EGAC) e das Comunidades de Energia ou o operador de postos de carregamento (OPC) de veículos elétricos, sempre que estejam presentes.

A digitalização da rede torna possível a sua monitorização e controlo em tempo real, permitindo aos DSOs aumentar a qualidade, disponibilidade e eficiência da rede. A rede digital é o conceito que pretende conectar a geração descentralizada proveniente das renováveis, os sistemas de armazenamento, as micro-redes e as VPPs (*Virtual Power Plants*) com os sistemas tradicionais de geração centralizada, aproveitando o potencial das casas e edifícios inteligentes e da Internet das Coisas (IoT - *Internet of the Things*), para tornar as atuais redes mais confiáveis e inteligentes, capazes de detetar e remediar automaticamente situações de interrupção de fornecimento de eletricidade, encontrando caminhos alternativos quando for necessário.

O conceito da Rede Digital inter-relaciona o sistema elétrico com as redes de telecomunicações e será cada vez mais importante para as redes elétricas do futuro, à medida que as renováveis e o armazenamento se tornam cada vez mais distribuídos em micro-redes de grandes edifícios e instalações industriais, mas também nas Comunidades de Energia.

### **Resiliência e segurança da rede elétrica**

Modelização das redes elétricas em face dos novos comportamentos dinâmicos

A dinâmica das redes elétricas clássicas é determinada por geradores síncronos com grande inércia, normalmente representados e modelizados linearmente como sendo um grupo de osciladores interagindo entre si [1]. Todavia, a introdução de elementos com comportamento altamente não linear e com muito menor inércia exige novos modelos dinâmicos para a modelização do comportamento das redes elétricas do futuro, de forma a avaliar corretamente a sua estabilidade e sincronização ou, genericamente, os seus riscos e limitações [2].

De facto, a rede elétrica é uma das infraestruturas críticas que tem de ser protegida. Para tal, um aspeto fundamental é garantir a sua resiliência beneficiando das capacidades que a integração de novas tecnologias na rede pode trazer. Um dos elementos chave para o aumento da resiliência e segurança da rede é o seu grau de digitalização e monitorização, associado

à introdução de um sistema de automação que permita a sua modificação, para o que as micro-redes e nano-redes poderão desempenhar um papel fundamental. Estas redes deverão ser o mais possível autossuficientes em termos de capacidade de geração e serão elementos chave para a resiliência da rede global.

A utilização de dispositivos e protocolos IoT, a aquisição e troca de maiores quantidades de dados e o desenvolvimento de algoritmos e ferramentas de avaliação de risco adequadas, permitem melhorar o planeamento, deteção, atuação/mitigação e recuperação da rede, beneficiando de conhecimento e informações prévias, prevendo as zonas vulneráveis da rede e antecipando e preparando a resposta para essas disrupções. Numa palavra, a digitalização aumenta a resiliência das redes elétricas.

## **Sector coupling e a gestão inteligente de cargas**

Não há ainda uma definição acordada universalmente para *sector coupling* que, tratando-se de um termo relativamente novo, refere-se a um conceito explorado desde há décadas. Na perspetiva da IRENA (International Renewable Energy Agency), *sector coupling* pode ser definido como o processo de interconetar o sector da geração de eletricidade com o sector da energia de uma forma mais lata (como por exemplo o calor, o gás ou a mobilidade). Foi primeiramente aplicado na Alemanha para sublinhar a importância da aplicação dos excedentes de energia solar e eólica em sectores como os transportes, a indústria, os edifícios e o aquecimento, os quais de outra forma seriam desperdiçados [3]. Se forem simultaneamente utilizadas soluções de gestão da procura o *sector coupling* terá benefícios ainda mais relevantes, sendo a digitalização e a introdução de sistemas inteligentes nas redes elétricas determinante para esse efeito.

Se forem introduzidos os benefícios económicos adequados, por exemplo através de tarifários dinâmicos e da monetização da flexibilidade energética, será possível obter contributos muito relevantes para as operações globais do sistema e para atingir as metas de descarbonização de uma forma economicamente mais eficaz<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA\\_Sector\\_Coupling\\_in\\_Cities\\_2021.pdf](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_Sector_Coupling_in_Cities_2021.pdf)

The International Renewable Energy Agency (IRENA) serves as the principal platform for international co-operation, a centre of excellence, a repository of policy, technology, resource and financial knowledge, and a driver of action on the ground to advance the transformation of the global energy

O caso da mobilidade elétrica é talvez aquele que maior impacto terá nas redes na próxima década pelo que um acoplamento eficiente e promotor de flexibilidade energética entre os sectores elétrico e dos transportes exige a implementação de sistemas inteligentes de gestão de carregamentos, para além de reformas regulatórias que promovam os serviços de sistema, bem como de plataformas inovadoras de gestão e da promoção de novos modelos de negócio.

Como adiante se aprofundará, as Comunidades de Energia podem constituir-se como autênticos laboratórios vivos que permitirão testar estas plataformas em ambiente real, local e controlado, gerando a experiência necessária para a transição da rede tradicional para uma rede inteligente, passando por uma fase de rede híbrida em que ambas deverão co-existir.

Na verdade, a tecnologia tem quebrado tabus: temos hoje a possibilidade de armazenar energia térmica e elétrica de forma eficiente e economicamente viável. A digitalização, a granularidade da chamada Internet das Coisas (IoT) e os sistemas de controlo remoto possibilitam controlar a procura de energia, explorando a flexibilidade associada à inércia dos sistemas de aquecimento/arrefecimento ou de outros processos interruptíveis, quebrando também o tabu da inelasticidade da energia [4].

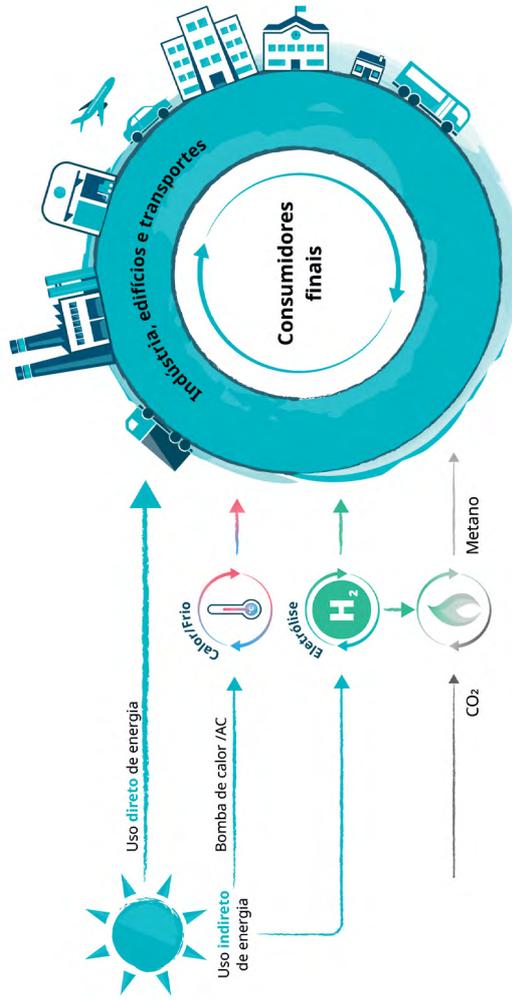
Ou seja, a tecnologia hoje ao nosso dispor possibilita uma gestão dinâmica, inteligente e segura dos ativos de energia distribuída (i.e., unidades de produção de base renovável, baterias, veículos elétricos, equipamentos de climatização e outros) podendo controlar a procura de uma forma inteligente e assim contribuir para a manutenção do equilíbrio entre a oferta e a procura na rede elétrica mesmo em cenários de geração intermitente.

Efetivamente, as técnicas de gestão da procura (*DSM - Demand side management*) através do controlo ativo de cargas, são hoje vistas como uma estratégia efetiva para a integração de energias renováveis nas redes elétricas, controlando os perfis de consumo através da utilização de sistemas inteligentes de gestão e controlo capazes de diferir temporalmente a utilização de determinadas cargas.

---

system. An intergovernmental organisation established in 2011, IRENA promotes the widespread adoption and sustainable use of all forms of renewable energy, including bioenergy, geothermal, hydropower, ocean, solar and wind energy, in the pursuit of sustainable development, energy access, energy security and low carbon economic growth and prosperity.

*Sector Coupling*



**Figura 2** Ilustração da utilização direta e indireta de energia. A flexibilidade energética associada ao *sector coupling* é fundamental para a estabilidade e resiliência das redes elétricas modernas.

A digitalização e a interoperabilidade serão fundamentais para que esta flexibilidade de cargas possa ocorrer e contribuir para a gestão do sistema elétrico e para a otimização dos mercados de energia. Várias teses e artigos científicos têm sido escritos na última década sobre esta evolução do sistema elétrico. Por exemplo em [5] foi desenvolvido para esse efeito o conceito de *Energy Box Aggregator* de forma a assegurar a interface entre os sistemas individuais de gestão de energia / gestão de cargas, e o operador da rede elétrica, num contexto de redes inteligentes.

O agregador deverá usar a flexibilidade disponibilizada por cada utilizador individual, agregado num cluster local, sendo para o efeito a Comunidade de Energia a entidade natural, de forma a satisfazer os requisitos de controlo da procura exigidos pelo operador de serviços de sistema, de forma a equilibrar a oferta e a procura.

Num contexto de introdução de fontes de geração renovável com intermitência, esta aproximação é economicamente atrativa, evitando maiores investimentos do lado da oferta para suprir necessidades pontuais.

Um exemplo real do impacto da flexibilidade energética foi o sucedido há poucos meses quando o Sistema Elétrico Francês sofreu um episódio de falta de potência elétrica para enfrentar a ponta de consumo do dia (70 GW). Embora o seu parque gerador disponha de 130 GW, um grande número de reatores nucleares encontrava-se em manutenção. O sistema sobreviveu graças à contratação de 11 GW de apoio aos países periféricos e à ativação com o nível laranja do Sistema “Ecowatt”. O site [www.monecowatt.fr](http://www.monecowatt.fr), foi lançado pelo operador de rede francês e constitui um importante instrumento para reduzir riscos de corte nos períodos de forte consumo ou de deficiência de energia, recorrendo exclusivamente a medidas comportamentais. Contém informação em tempo real sobre o estado da rede elétrica, com cores que vão do verde ao vermelho e com aconselhamento sobre qual o melhor comportamento dos cidadãos, quer em casa, quer no local de trabalho. Quando a procura excede a oferta, em vez de um corte cego, é pedido aos consumidores que moderem o seu consumo através de ecogestos simples que podem ir do desligar uma lâmpada, não carregar o telemóvel, não por em funcionamento a máquina de lavar, ou interromper o carregamento do veículo elétrico.

## **Digital Twins: juntando a digitalização, IoT e a ciência dos dados para a gestão das redes inteligentes**

O conceito de *Digital Twins* foi introduzido pela primeira vez há mais de 30 anos por David Gelernter, professor de ciências de computação na Universidade de Yale, na sua obra *Mirror Worlds*. Foi já considerada uma das *Top Trending Emerging Technologies* da Gartner e está em fase crescente de adoção desde as áreas da produção de máquinas industriais, passando pela aviação e transportes em geral, até às cidades e redes inteligentes.

Trata-se de criar réplicas digitais de objetos, processos ou cenários reais complexos, criando um paralelismo entre o mundo físico e o virtual para análise de todas as perspetivas e simulação de cenários em que a gestão e controlo remoto sejam possíveis, ou simplesmente para efetuar manutenção preditiva.

A tecnologia dos *Digital Twins* abarca a digitalização, IoT e *Data Science* e tem uma aplicação muito grande nas *smart cities* por se tratar de ambientes extremamente complexos, com imensas dimensões, desde a mobilidade, ao consumo e gestão da água e às *smart grids*. Um exemplo dado frequentemente é a cidade de Boston que está a utilizar *Digital Twins* para o planeamento e construção de edifícios, tendo em consideração a exposição solar, as infraestruturas existentes e a previsão de custos de construção, mas também na análise de cenários preditivos de cheias, com base no histórico e nas previsões atmosféricas.

## **Ciber-segurança e tolerância a falhas**

Antes de concluir esta introdução sobre as tecnologias associadas à digitalização e sobre o seu estado de desenvolvimento e disponibilidade nas redes elétricas, em especial da Europa, importa não esquecer também os riscos associados.

Na verdade, e como já referido e mais adiante se demonstrará, a digitalização da energia tem o potencial para melhorar o desempenho do sistema elétrico de diversas formas, técnica e economicamente, por exemplo aumentando o número e volume das fontes de flexibilidade e criando as condições para a implementação de novos tipos de transações e modelos de negócio. Ou seja, a digitalização não só é determinante para a descentralização e descarbonização como é o *enabler* da democratização da

energia! Todavia, a profusão de pontos de contacto com a rede através da instalação dos dispositivos IoT e da criação da chamada Internet da Energia (IoE - *Internet of the Energy*), encerra riscos semelhantes ao da internet, como sejam os ciberataques, devendo, portanto, ser tidas em consideração as medidas de segurança quer a nível físico quer dos protocolos de comunicação. Por outro lado, também a nível lógico e algorítmico deve ser assegurado que o sistema exibe tolerância a falhas, identificando os estados de segurança e impedindo que falhas técnicas ou humanas possam gerar situações críticas. Por exemplo, sendo possível que múltiplos agentes tenham acesso ao mesmo dispositivo, podendo emitir sinais de controlo contraditórios, é necessário impedir a nível do projeto que essas ordens possam ocorrer. Ou seja, devemos limitar as possibilidades infinitas proporcionadas pela digitalização apenas àquelas que sejam compatíveis com a segurança do sistema.

### Transição energética em movimento

O funcionamento normal da nossa sociedade pressupõe um bom equilíbrio entre a procura e a oferta. Todos sentimos recentemente, no início da pandemia COVID-19, como a ocorrência de fenómenos inesperados podem alterar esse equilíbrio com consequências muito nefastas. A oferta de papel higiénico, máscaras e ventiladores, por exemplo, demorou várias semanas até se ajustar à procura. Noutros casos, como os componentes eletrónicos e outros materiais, passaram-se já muitos meses e ainda não foi encontrado um novo equilíbrio.

Nas redes elétricas, esses desequilíbrios não podem ocorrer por mais do que breves instantes, caso contrário as consequências poderão ser muito nefastas, gerando apagões como os sucedidos no Texas em fevereiro de 2021, num inverno anormalmente frio, em que 2 milhões de casas ficaram sem fornecimento de eletricidade durante vários dias causando mais de 200 mortes e perdas económicas estimadas em mais de 130 milhares de milhões de dólares. Outros desequilíbrios semelhantes entre a oferta e o consumo elétrico provocaram apagões em cascata em agosto de 2003 no norte dos EUA e no Canadá, em julho de 2012 na Índia e em março de 2019 na Venezuela.

Estes episódios até agora raros vão quase certamente tornar-se muito mais frequentes em consequência dos efeitos das alterações climáticas e do que podemos apelidar de transição energética “*em movimento*” para ilustrar a

mudança de paradigma e transformação das redes elétricas em curso. Na verdade, a introdução de fontes de geração renovável com variabilidade inerente, ao mesmo tempo que a descarbonização exige a eletrificação dos consumos nos edifícios, dos meios de transporte, dos sistemas de aquecimento e arrefecimento, bem como de outros sectores de atividade económica, estão a aumentar grandemente a procura de eletricidade quando em simultâneo as centrais convencionais a carvão e nucleares estão a ser desligadas da rede.

A solução para corrigir estes desequilíbrios pode passar pelo investimento em infraestruturas centralizadas de armazenamento, como as baterias *grid-scale* ou as instalações hidro-elétricas com bombagem para armazenar a produção renovável excedente, aproximação que está a ser liderada pela China e que implica investimentos massivos difíceis de aprovar e justificar no mundo ocidental, ou a introdução de mecanismos inteligentes de controlo da procura (*Demand Side Management*) e a gestão da rede a partir de micro-redes e Comunidades de Energia, como os Estados Unidos e a Europa estão a privilegiar.

É esta segunda via que acreditamos ser a mais eficaz e economicamente viável, e para a qual uma efetiva digitalização das redes é fundamental. As Comunidades de Energia, como temos vindo a defender, ajudam a garantir o balanceamento da rede, numa abordagem *bottom-up*, estabelecendo um novo nível de gestão e controlo local capaz de acomodar movimentos imprevisíveis como a compra de um novo veículo elétrico, de uma bomba de calor, e de um novo sistema solar de um dia para o outro num mesmo bairro, promovendo uma verdadeira e democrática transição energética “*em movimento*” sem prejudicar a segurança e resiliência das redes elétricas existentes.

## Digitalização e interoperabilidade

Esta transição energética em movimento exigida pelas metas de descarbonização, no âmbito da qual observamos a evolução de um sistema baseado em poucos atores chave para um novo paradigma com milhões de elementos ativos e dinâmicos conectados, sejam eles unidades de geração, armazenamento ou apenas de consumo, não pode mais ser gerido sem uma profunda digitalização do sistema elétrico, conforme ficou já bem patente nas teses que o autor acima foi defendendo.

A digitalização, com recurso a tecnologias de informação e comunicação e a soluções compostas por múltiplos sensores, atuadores e sistemas conectados e interoperáveis, coordenados com recurso a algoritmos e sistemas operativos sofisticados que incorporam inteligência artificial, e outras tecnologias emergentes, deverá permitir monitorizar, realizar o tratamento e tomar decisões com base numa grande quantidade de dados num curto espaço de tempo. Todavia, a digitalização e a introdução de novas tecnologias nas redes elétricas não bastam. É imperioso assegurar interoperabilidade.

A interoperabilidade, permitindo a comunicação e cooperação entre os diversos sistemas é vital para a troca de dados necessária ao funcionamento e gestão dos sistemas, pelo que a adoção de *standards* abertos ou *de facto standards* terá de ser assegurada. Na verdade, apesar da disponibilidade e maturidade da tecnologia, e da existência de empresas inovadoras e competentes para a sua aplicação, a digitalização das redes elétricas está ainda muito longe de ser uma realidade. Os contadores inteligentes (*smart meters*), cuja instalação se iniciou há mais de 20 anos em alguns países europeus, continuam com uma penetração inferior a 50% na Europa, a ser instalados muito lentamente e sem que os respetivos dados estejam disponíveis em tempo real como se impõe para uma eficaz gestão das redes elétricas. A interoperabilidade, ou a falta dela, entre os diversos sistemas e plataformas é a principal razão para este *status quo*. Não se atingirão as metas de descarbonização sem uma verdadeira revolução a nível da interoperabilidade. Os chamados contadores inteligentes, já instalados aos milhões em quase todos os países europeus, na verdade não têm tornado as redes elétricas nem inteligentes nem digitais. Na verdade, estes *smart meters* quase sempre ou não comunicam entre si, ou comunicam muito deficientemente. São necessárias normas e plataformas de gestão com *web services* que assegurem a interoperabilidade e a comunicação em tempo real!

Em oposição a esta evolução lenta da digitalização da energia e como evidência do efeito alavancador que a interoperabilidade pode trazer à expansão e utilidade dos sistemas, veja-se o exemplo do GSM, tecnologia introduzida em 1991 e que em menos de 6 anos tornou-se disponível em mais de 100 países e um *de facto standard* na Europa e Ásia. O GSM, apesar de não ser considerado uma melhor opção técnica do que a tecnologia CDMA utilizada nos EUA, tornou-se dominante graças à normalização e ao *roaming* (interoperabilidade) entre as redes dos vários países.

## A Digitalização do Sistema Elétrico e a Reforma dos Mercados de Energia

O Reino Unido, talvez por ser uma ilha e, portanto, ter mais dificuldade com as interconexões e ter de garantir a sua independência energética, foi pioneiro na Europa na liberalização dos mercados de energia há cerca de 30 anos. É também no Reino Unido que se começa agora a discutir de uma forma mais determinada a reformatação dos mercados de energia e a assumir a digitalização como determinante para fazer face à crescente complexidade inerente à descarbonização e à eletrificação da economia.

Na verdade, em maio de 2021, numa ação conjunta do governo, da entidade reguladora Ofgem e do Innovate UK, foi lançada uma *Taskforce* para a Digitalização da Energia que em curto espaço de tempo determinou que a digitalização deverá estar presente a todos os níveis no sistema energético e publicou a Estratégia para a Digitalização da Energia bem como uma atualização do Plano para a Flexibilidade.

Esta Estratégia assenta em 4 pilares fundamentais: gerar mais valor para os consumidores, acelerar a descarbonização, manter a estabilidade, segurança e resiliência do sistema elétrico, e otimizar os investimentos e a operação global do sistema.

Sem entrar em detalhes sobre cada uma destas recomendações, parece evidente que uma organização do sistema com base em Comunidades Locais de Energia, cuja Plataforma de Gestão assegure a nível local esses equilíbrios e, simultaneamente, comunique com uma camada superior de previsões e gestão de médio e longo prazo, ou seja, um modelo baseado numa plataforma unificadora de plataformas locais, será, de facto, muito mais eficaz para cumprir os objetivos delineados do que o atual paradigma de gestão centralizada da rede elétrica.

Mais recentemente, e como consequência da guerra da Ucrânia, a União Europeia produziu a chamada Declaração de Versailles (em 11/03/2022): “é necessário acelerar a independência dos combustíveis fósseis, aumentando a velocidade de implementação de fontes de energia renovável, aumentando a eficiência energética e promovendo uma maior circularidade na indústria e nos padrões de consumo”.

Na verdade, o atual mercado europeu de energia foi criado em 1990 com o objetivo de reduzir o preço da energia, mas, agora, temos dois objetivos *maiores*: a descarbonização e, fruto da guerra, a independência energética.

Para endereçar estes objetivos é imprescindível uma integração completa do Sistema Elétrico e a existência de uma Plataforma digital adequada, que facilite a integração “horizontal” do sistema de energia, em oposição à tradicional integração “vertical” na qual apenas existia a preocupação de transportar a energia para os consumidores [4].

Por outro lado, a descentralização assume uma crescente e incontornável relevância nos sistemas elétricos europeus. Cerca de 95% da nova capacidade de geração tem sido ligada às redes de distribuição de baixa e média tensão, com origem em fontes renováveis (fotovoltaica, eólica e biomassa). Na Alemanha temos já 1.3 milhões de geradores ligados nas redes de baixa-tensão, o que corresponde a 23GW ou 10% da capacidade total de geração instalada no país, ao que se somam 61.000 centrais de geração ligadas à média-tensão, totalizando 51.7 GW e 23% da capacidade total. Em Itália, 913.000 geradores fotovoltaicos estão ligados às redes de baixa tensão, o que corresponde a 7% do total de geração instalada no país<sup>2</sup>.

Ou seja, como corolário desta realidade, torna-se evidente a necessidade absoluta de uma abordagem *bottom-up* em que as plataformas locais de gestão das Comunidades de Energia Renovável deverão ser consideradas como peças fundamentais para a gestão das redes elétricas, em articulação com os sistemas nacionais e transnacionais atualmente existentes.

## Plataforma de Gestão da Comunidade de Energia

As Comunidades de Energia, para serem geridas eficazmente, necessitam de plataformas digitais, mais ou menos sofisticadas. Idealmente a Plataforma deverá implementar modelos de otimização multiobjetivo que tenham em conta as variáveis de entrada (geração e consumo estimados, disponibilidade de cargas flexíveis e de sistemas de armazenamento), as necessidades do operador de sistema para o balanceamento da rede e os custos envolvidos para pagamento da ativação da flexibilidade energética aos detentores de cargas flexíveis. Este é um campo onde algoritmos de inteligência artificial e autoaprendizagem são absolutamente pertinentes para garantir a robustez do sistema ao mesmo tempo que é feita a adequação ao perfil comportamental do utilizador.

---

<sup>2</sup> GSE, Solare fotovoltaico – rapporto statistico 2020, Pg. 11 [https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Solare%20Fotovoltaico%20-%20Rapporto%20Statistico%20GSE%202020.pdf](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Solare%20Fotovoltaico%20-%20Rapporto%20Statistico%20GSE%202020.pdf)

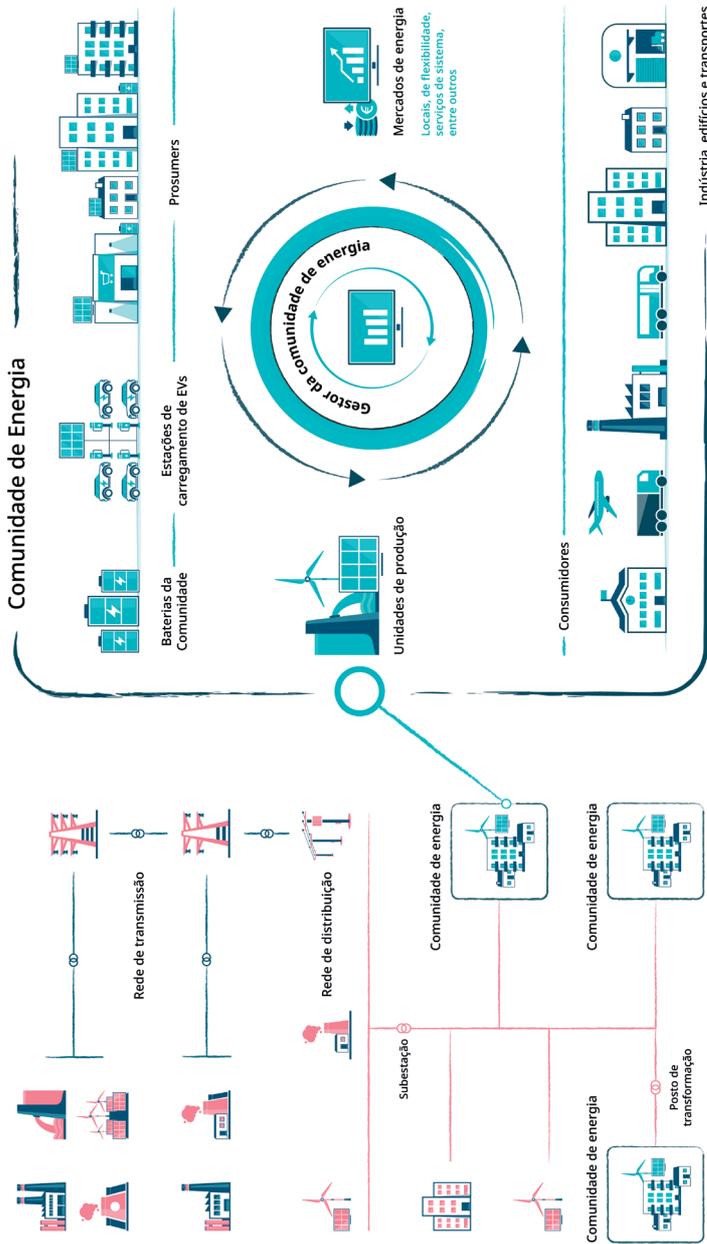


Figura 3 Ilustração da Plataforma de Gestão de Comunidades de Energia.

Esta Plataforma está esquematicamente representada na figura seguinte e responde ao espírito patente no Decreto Lei n.º 15/2022 (Sistema Eléctrico Nacional) no que diz respeito aos sistemas específicos de gestão dinâmica, sendo que, para funcionar, necessita dos regulamentos da ERSE e da interoperabilidade com o Sistema Operacional.

Como já referido anteriormente, descarbonizar implica produzir eletricidade limpa e eletrificar a economia através de uma abordagem multisectorial envolvendo os sistemas de transportes, de aquecimento e arrefecimento, bem como a substituição de todos os processos que recorram a gás e outros combustíveis fósseis, por recursos de base renovável.

Tendo em conta os desenvolvimentos tecnológicos das últimas décadas, como sejam a disponibilidade de bombas de calor, de carros elétricos ou de painéis fotovoltaicos suficientemente baratos e eficientes para que sejam adquiridos e utilizados no sector residencial e das pequenas empresas, esta transição energética é iminentemente uma transição local, centrada no utilizador/ consumidor, e não mais nas grandes centrais de produção ou na rede de transporte de energia. Trata-se, portanto, de uma transição iminentemente democrática, que se desenvolve numa abordagem *bottom-up* e cujo ritmo de evolução, tal como o de várias revoluções sociais recentes, será impossível de pré-definir ou controlar.

As Comunidades de Energia, pelo seu carácter local e de envolvimento dos cidadãos, sejam eles consumidores “passivos” ou “ativos”, como sejam os *prosumers*, os detentores de veículos elétricos, com ou sem sistema de injeção na rede (V2G – *Vehicle to Grid*), ou os detentores de sistemas de armazenamento de energia e de sistemas de controlo da flexibilidade energética, são, portanto, entidades com um papel decisivo a desempenhar no equilíbrio da rede elétrica e no novo paradigma do Sistema Eléctrico, para o qual a digitalização e a interoperabilidade são determinantes.

As plataformas de gestão das Comunidades de Energia são, pois, não apenas fundamentais para a gestão da nova rede elétrica digital como enablers determinantes da transição energética.

Estas plataformas devem combinar características de competição e cooperação, sempre com o consumidor no seu foco, e devem otimizar os recursos e minimizar as perdas, numa lógica de economia circular. Terão, por outro lado, de garantir interoperabilidade e comunicação com as camadas superiores de agregação, passando de um modelo de mercado único de energia para um modelo baseado numa plataforma unificadora de plataformas locais.

Tal como recomendado em [4], estas plataformas deverão ter 2 faces: uma relativa à infraestrutura física e outra à superestrutura transaccional. As duas faces deverão ser inseparáveis, tal como o são as duas faces de uma moeda. Não só devem estar preparadas para suportar a instalação de mais dispositivos consumidores e de mais ativos de geração na rede local, permitindo novas transações e novos modelos de negócio, como devem ser capazes de funcionar assentes nas atuais redes de distribuição de eletricidade, proporcionando a tal transição energética “em movimento” que mais acima se referia.

## Novos mercados de energia emergentes das redes digitais

Nos novos mercados de comercialização de energia, emergentes das redes elétricas digitais, o preço deixa de ser o fator determinante na escolha de uma comercializadora, que evoluirá de uma atividade de simples compra e venda com baixas margens (*trading*), para uma atividade agregadora de maior valor acrescentado como sejam a flexibilidade energética ou os novos modelos de negócio associados à economia da partilha e as transações *peer-to-peer* no seio de uma Comunidade de Energia.

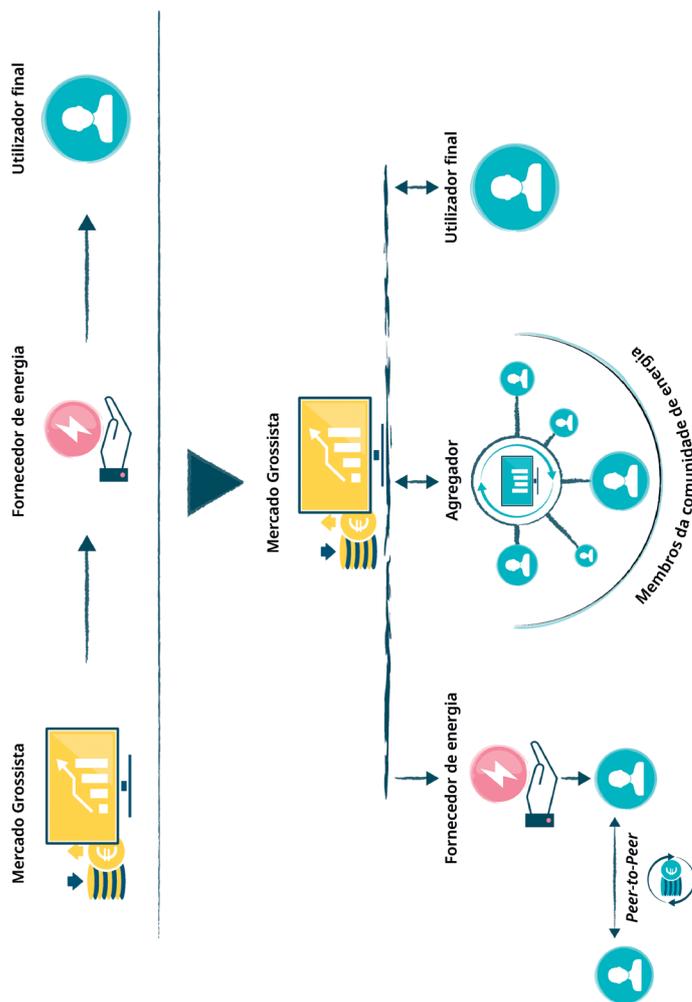
Uma vez mais, a digitalização e a IoT serão determinantes para que este novo paradigma se materialize e se torne um dos pilares fundamentais da descarbonização.

Apesar de ser hoje tecnologicamente possível, tendo em conta a digitalização e a chamada Internet das Coisas (IoT), a exploração comercial da flexibilidade energética (DSM – *Demand Side Management*) tem evoluído muito lentamente na Europa, a um ritmo que não é suficiente para atingir as metas de descarbonização de 2030<sup>3</sup>. A monetização de mecanismos de flexibilidade no seio das CERs será uma forma de acelerar este caminho sem esperar por decisões complexas e demoradas dos reguladores nacionais, e tornará evidente não só a viabilidade económica destes modelos como mais uma vantagem das Comunidades de Energia e da inevitabilidade de um movimento *bottom-up* na construção de um novo paradigma das redes elétricas digitais e descarbonizadas.

Para garantir uma efetiva coordenação de todo o sistema é necessário promover uma efetiva troca de informação e coordenação entre as várias camadas de gestão e estabelecer procedimentos de controlo bem definidos,

---

<sup>3</sup> <https://smarten.eu/position-paper-a-network-code-for-demand-side-flexibility/> SmartEn is the European business association for digital and decentralised energy solutions.



**Figura 4** Evolução dos Mercados de Energia, acomodando novos modelos de negócio e Comunidades de Energia.

quer para as condições normais de funcionamento quer para as situações “anormais”.

## Projetos demonstradores

A demonstração da possibilidade de utilizar Comunidades de Energia como ambientes reais, mas controlados para implementação e estudo de novos modelos de negócio, mostrando o poder da internet e promovendo a economia da partilha e a flexibilidade energética, tem sido efetuada em Portugal pelo menos desde 2018 [6] [7].

Estes estudos centraram-se no utilizador, incentivando as transações membro a membro (P2P - *peer-to-peer*) de excedentes de geração fotovoltaica e despertando as consciências para comportamentos energeticamente eficientes, transformando consumidores passivos e desmotivados em agentes ativos e voluntariosos. Trata-se de exemplos claros dos benefícios e do alcance que a democratização da energia poderá ter num novo sistema elétrico digital e descarbonizado, e do papel fundamental que uma plataforma local bem concebida pode desempenhar. De relevar ainda o facto de estas iniciativas, no âmbito de Comunidades de Energia, se poderem implementar sem que os enquadramentos regulatórios tenham de previamente ser alterados. Pelo contrário, eles servem de provas de conceito e de validação de impacto, em ambiente real, de como esses regulamentos poderão evoluir.

## Conclusão

Termina-se este capítulo com a clara convicção do papel determinante que a Digitalização e as Comunidades de Energia, por definição locais, descentralizadas e focadas nos consumidores, irão desempenhar na próxima década na transição energética, no projeto de novas arquiteturas e na quebra definitiva de monopólios no mercado da energia. As Comunidades democratizam não só o acesso e a geração de eletricidade, mas também as ferramentas de gestão da rede, trazendo a possibilidade de pequenas e médias empresas tecnológicas implementarem em ambientes reais as suas plataformas inovadoras, as quais irão prevalecer e crescer no mercado apenas em função dos seus méritos, do valor acrescentado junto dos consumidores, e não por serem impostas por alguma entidade central, distante e anónima.

A digitalização e as tecnologias de informação e de comunicação são ferramentas já hoje disponíveis no mercado e que tornam esta revolução possível. As metas de descarbonização e da independência energética tornam-na inevitável. Sejam os governos, os reguladores e os operadores facilitadores e não bloqueadores, ainda que involuntariamente, desta verdadeira, indispensável e democrática revolução energética.

## Referências

- [1] Yufeng Guo *et al.* (2021) Overviews on the applications of the Kuramoto model in modern power system analysis, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 129, 106804. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106804>
- [2] N. Hatziaargyriou *et al.* (2021) Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended, *IEEE Transactions on Power Systems* 36(4), 3271 (2021).  
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3041774>
- [3] Van Nuffel, L. (2018) *Sector coupling: How can it be enhanced in the EU to foster grid stability and decarbonise?* European Parliament, Brussels, [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626091/IPOL\\_STU\(2018\)626091\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626091/IPOL_STU(2018)626091_EN.pdf)
- [4] J. Vasconcelos, EU electricity reform, May 2022. Disponível na página do Instituto Universitário Europeu [https://fsr.eui.eu/wp-content/uploads/2022/05/eu\\_electricity\\_reform\\_may2022.pdf](https://fsr.eui.eu/wp-content/uploads/2022/05/eu_electricity_reform_may2022.pdf)
- [5] Carreiro, A.M.; Oliveira, C.; Antunes, C.H.; Jorge, H.M. (2015) An Energy Management System Aggregator Based on an Integrated Evolutionary and Differential Evolution Approach. In: Mora A., Squillero G. (eds) *Applications of Evolutionary Computation*. EvoApplications 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9028, 252-264. Springer, Cham.
- [6] Lurian Pires Klein, Aleksandra Krivoglazova, Luisa Matos, Jorge Landeck and Manuel Azevedo (2019) *A Novel Peer-To-Peer Energy Sharing Business Model for the Portuguese Energy Market*.
- [7] Lurian Pires Klein, Luisa Matos (2020) A pragmatic approach towards end-user engagement in the context of peer-to-peer energy sharing, *Energy* June 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118001>