

# O DESAFIO DA ENERGIA NA ERA DOS DADOS: PRECISAMOS NOS PREOCUPAR E ESTAMOS PREPARADOS?



Alberto Villela

Em dezembro de 2015, no âmbito da COP 21<sup>1</sup>, foi firmado o Acordo de Paris. Ele detalha os compromissos assumidos por 195 países para reduzir suas emissões futuras de gases de efeito estufa (GEE), de forma a minimizar os impactos das mudanças climáticas. A meta principal é impedir que, ao longo do século XXI, a temperatura média do planeta Terra exceda 2 °C àquela observada antes da Revolução Industrial, uma vez que inúmeros testemunhos paleoclimáticos indicam que tal patamar jamais foi observado desde que *o homo sapiens* surgiu no planeta, colocando a trajetória humana em terreno incerto. Ademais, houve um compromisso de se emvidar esforços para limitar o aumento da temperatura média global do planeta a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, patamar apoiado por inúmeros cientistas e estadistas. Em 2018, o IPCC<sup>2</sup> lançou um relatório que investigou os impactos associados a este patamar *vis a vis* 2 °C. Concluiu ser necessário manter o aquecimento no patamar mais baixo, sob pena de distúrbios intoleráveis à sociedade, como a extinção acelerada de espécies animais e vegetais, aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos, escassez de água potável, elevação do nível do mar e taxas insustentáveis de migração.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é responsável por cerca de 65% do aquecimento (“forçamento radiativo”)<sup>3</sup> da atmosfera ora causado por ações humanas. Não à toa, adota-se o termo CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub> equivalente) para caracterizar o efeito do conjunto global dos GEEs emitidos pela sociedade. Os modelos climáticos analisados pelo IPCC indicam ser necessário uma drástica redução de emissões de CO<sub>2</sub>, chegando a zero, em 2050, de forma a conter a escalada de temperatura de 1,5 °C até o fim deste século.





Desde a segunda metade do século XIX, houve um crescimento acelerado das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, por conta do uso cada vez mais intenso de energia em toda atividade humana. Isto só foi possível por conta do emprego de recursos fósseis (carvão, petróleo e gás natural), resultado da transformação de biomassa acumulada por milhões de anos. Apesar de a questão das mudanças climáticas estar em discussão desde 1992, ainda hoje, 80% da oferta global de energia ainda provém de recursos fósseis<sup>4</sup>, cuja queima é responsável por 90% das emissões globais de CO<sub>2</sub><sup>5</sup>.

Logo, fica claro que a reestruturação da matriz energética mundial, de forma que passe a ser baseada exclusivamente em fontes não fósseis (renováveis, nuclear, hidrogênio “verde”), é decisiva para o sucesso no combate às mudanças climáticas antropogênicas. A tarefa não é simples: o carvão somente se tornou o energético primordial da humanidade, destronando a lenha, na virada do século XIX para XX, mais de cem anos após o início da Revolução Industrial. Ele só foi desbancado pelo petróleo na década de 1960, evidenciando a grande inércia da matriz energética. De fato, a energia elétrica, emblema da vida moderna, responde por apenas 20% da energia consumida total do planeta<sup>6</sup>. Apesar da vertiginosa ascensão das fontes eólica e solar fotovoltaica (FV), 65% da geração elétrica global ainda provém de fontes fósseis.

Três mercados deverão despontar para a contínua expansão do setor elétrico: primeiro, climatização de ambientes, em particular, o uso de ar-condicionado em países tropicais, cujo clima se tornará crescentemente hostil à vida. Em segundo, o setor de transportes, cujo consumo energético atual em muito supera a geração elétrica. A eletrificação da frota de veículos leves, operadas a gasolina, já está em curso, particularmente na China, maior mercado mundial. No entanto, a menor densidade de energia das baterias frente aos combustíveis fósseis retardará a eletrificação do setor de transportes pesados (aéreo, marítimo).

***Um terceiro mercado emergente é o setor da tecnologia de informação, com a explosão de datacenters em todo o mundo, espinha dorsal de uma economia crescentemente digital. Uma aplicação em especial tem despertado preocupação de autoridades em todo o mundo: a mineração de criptomoedas, necessária para produzir moedas digitais, como o Bitcoin, Ethereum e outras. Consulta em 5/21 no site da Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index indica um consumo anualizado de 116 TWh com operações de mineração de Bitcoin, principal criptomoeda, em todo o mundo. Esse montante representa em torno de 24% do consumo total de energia elétrica no Brasil, em 2019<sup>7</sup>.***

Descarbonização é um problema de infraestrutura, o maior já enfrentado pela humanidade. Envolve não só a produção de energia, mas também o transporte, iluminação, aquecimento, refrigeração, cozimento e outros sistemas e serviços básicos. A infraestrutura de combustível fóssil mundial inclui poços de petróleo e gás, minas de carvão, superpetroleiros, oleodutos e refinarias, mais de um bilhão de automóveis, postos de gasolina, caminhões-tanque, armazéns, usinas elétricas, trens a carvão, sistemas de aquecimento, fogões e fornos. Ativos na casa de dezenas de US\$ trilhões.

Pressionada pela necessidade de apresentar um roteiro plausível da descarbonização da matriz energética, compatível com os imperativos climáticos, a Agência Internacional de Energia, órgão responsável por traçar a política energética da maioria dos membros da OCDE, recém-publicou *"Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector"*. Nele, a agência estipula 400 marcos (*milestones*) a serem cumpridos, de forma que o setor energético global esteja completamente livre de fontes fósseis até 2050. Um marco diz que não pode haver novos investimentos em E&P para carvão e petróleo. Outro diz que não poderá ser ativada nenhuma nova planta termoeletrica baseada em carvão. Em ambos os casos, a partir deste ano, 2021.

**Considerando que, em 2020, apenas a China, país que mais investe em energia limpa (eólico, solar, hidro, nuclear), instalou 37 GW de térmicas a carvão, fica claro que a humanidade dificilmente escapará de ter que se adaptar às circunstâncias meteorológicas e climáticas crescentemente desafiadoras.**

O setor elétrico já sofre com as consequências das interrupções devido à crescente frequência de distúrbios climáticos. Estatísticas do Departamento de Energia dos EUA mostram uma tendência de crescimento, desde o início do século XXI, no número de interrupções de grande impacto (mais de 50.000 consumidores afetados) no fornecimento de eletricidade, devido a eventos extremos (tempestades, tornados, furacões, incêndios florestais), evidenciando a necessidade de criação de sistemas elétricos resilientes. Recentes interrupções dramáticas de energia elétrica na Austrália, Califórnia e Texas por conta de eventos climáticos extremos indicam a vulnerabilidade das redes elétricas, mesmo em regiões desenvolvidas do planeta.

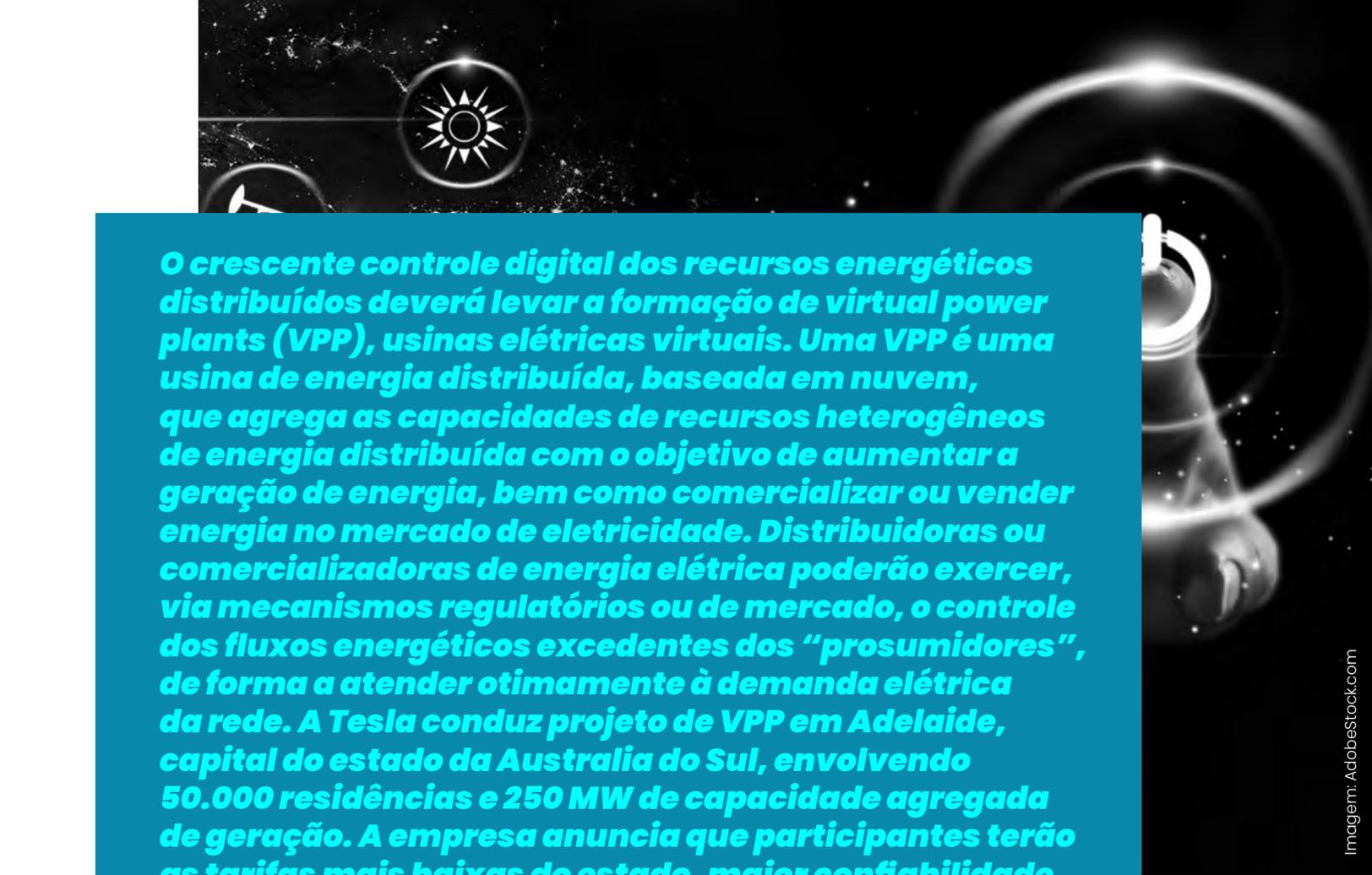
Uma solução é a implantação de redes inteligentes (*smart grid*), que deve ser entendida mais como um conceito do que uma tecnologia ou equipamento específico. Baseia-se na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações para monitoramento e controle da rede elétrica, que permitirá a implantação de estratégias de controle e otimização da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso. Graças ao alto nível de tecnologia agregado, as *smart grids* conseguem responder crescentes demandas da sociedade moderna, tanto no que se refere às necessidades energéticas, quanto em relação ao desenvolvimento sustentável, ao melhor compatibilizar o uso intenso de fontes renováveis intermitentes (solar FV, eólica).



**Mandatório para a implantação de uma rede inteligente é a disseminação de medidores de consumo eletrônico inteligentes (*smart meters*), que permitem leitura remota, digital, com armazenamento em memória, o envio de eventos e alarmes, controle de termostatos, etc. Um conhecimento mais profundo do comportamento do consumo dos clientes será possível, aperfeiçoando o planejamento da ampliação da oferta. Outro benefício será o estabelecimento de controle mais apurado de fraudes comerciais ou de perdas operacionais de energia, que podem ser identificadas mediante mudanças súbitas no comportamento do consumo.**

No caso do Brasil, a disponibilização da tarifa branca para clientes cativos (residências, pequenos comércios e indústrias) pressupõe uma leitura horária, visto os intervalos tarifários adotados. A disseminação do medidor inteligente implicará aumento de dados em 720 vezes (número médio de horas no mês).

Em tese, uma rede elétrica mais inteligente é capaz de responder mais rapidamente às interrupções. Será possível a identificação instantânea e precisa de uma queda no fornecimento na rede e a realização automática de manobras necessárias para viabilizar um pronto reestabelecimento do fornecimento, tal como ocorre em sistemas de transmissão de dados. Para isso, é necessária redundância, demandando crescente integração das redes de distribuição com os chamados recursos energéticos distribuídos, como células de combustível, microturbinas, pequenos aerogeradores (energia eólica), mas, principalmente, sistemas fotovoltaicos e baterias.



**O crescente controle digital dos recursos energéticos distribuídos deverá levar a formação de virtual power plants (VPP), usinas elétricas virtuais. Uma VPP é uma usina de energia distribuída, baseada em nuvem, que agrega as capacidades de recursos heterogêneos de energia distribuída com o objetivo de aumentar a geração de energia, bem como comercializar ou vender energia no mercado de eletricidade. Distribuidoras ou comercializadoras de energia elétrica poderão exercer, via mecanismos regulatórios ou de mercado, o controle dos fluxos energéticos excedentes dos “prosumidores”, de forma a atender otimamente à demanda elétrica da rede. A Tesla conduz projeto de VPP em Adelaide, capital do estado da Austrália do Sul, envolvendo 50.000 residências e 250 MW de capacidade agregada de geração. A empresa anuncia que participantes terão as tarifas mais baixas do estado, maior confiabilidade, investimento zero no hardware (placas FV e bateria), fornecendo também app que monitora o sistema.**

Para assegurar maior confiabilidade em uma rede elétrica, sistema *just-in-time* de entrega, sempre será necessário haver excesso de capacidade instalada das fontes geradoras, em face a uma demanda (e, agora, oferta) imprevisível. A ascensão das fontes solar FV e eólica nos últimos anos se deve ao fato de elas serem, hoje, as fontes mais competitivas, de menor custo nivelado (LCOE)<sup>8</sup>. Sua inflexibilidade na oferta de energia elétrica distorce a curva de carga, criando uma assimetria temporal entre oferta e demanda (*duck curve*), de regiões onde essas fontes têm maior participação, chegando a causar congestionamento em linhas de distribuição e transmissão. Isto ocorre frequentemente, porque projetos solares e eólicos são, em geral, construídos em áreas rurais, mais baratas, com muito sol e vento, mas pouca carga próxima (ou seja, usuários finais de energia) e capacidade de transmissão. Por causa desses desafios, há mais de 200 GW de projetos de solar FV e eólica atrasados nos EUA<sup>9</sup>, que têm desenvolvedores e financiamento disponíveis, mas que as redes fisicamente não podem acomodar.

**Mineradores de Bitcoin alegam ser a solução para os problemas de assimetria temporal e congestionamento<sup>10</sup>. Alegam ser compradores únicos de energia, pois oferecem carga altamente flexível e facilmente interrompível, fornecem pagamento em uma criptomoeda globalmente líquida e são totalmente independentes de localização, exigindo apenas uma conexão com a internet. Essas qualidades combinadas constituem um ativo extraordinário, um comprador de energia de último recurso, que pode ser ligado ou desligado, a qualquer momento, em qualquer lugar do mundo.**

Provavelmente, a maior catástrofe a assolar as redes elétricas e todos os sistemas eletrônicos e de dados suportados e, portanto, uma grande ameaça à economia digital, seria um forte pulso eletromagnético (PEM). É uma ameaça pelo potencial de dano aos sistemas elétricos e de dados.

Um PEM libera ondas enormes de energia eletromagnética, que podem agir como um ímã gigante em movimento. Tal mudança no campo magnético pode fazer com que os elétrons em um fio próximo se movam, induzindo assim uma corrente. Com uma explosão de energia tão grande, pode-se causar picos de energia prejudiciais em qualquer aparelho eletrônico dentro do alcance.

Um PEM poderia ser fruto de uma explosão solar muito intensa, que supere a proteção propiciada pelo campo magnético da Terra, tal como o ocorrido em 1859, o chamado evento Carrington, no qual os sistemas de telégrafo, únicos dispositivos elétricos na ocasião, sofreram panes ou funcionamento errático. Um evento cósmico de tal magnitude, hoje, poderia causar um retrocesso civilizatório: equipamentos elétricos e eletrônicos, desde motobombas de água a sistemas de iluminação, smartphones a satélites e servidores, poderiam ser “fritados”. PEMs também podem ser gerados pela explosão de artefatos nucleares. Especialistas dizem estar ao alcance de muitos militares, ou mesmo grupos terroristas, construir um gerador de PEM<sup>11</sup>, capaz de derrubar os pilares tecnológicos da civilização de uma grande área metropolitana.

A tecnologia necessária para proteger contra PEMs é semelhante ao já usado para evitar danos de picos de energia causados por raios. Padrões teriam que ser impostos para lidar com tensões mais altas, mas dispositivos de proteção contra surtos (DSP), que desviam o excesso de corrente para a Terra, ou gaiolas de Faraday, que protegem os dispositivos contra descargas atmosféricas e outros distúrbios eletromagnéticos, poderiam fazer o trabalho.



**Por outro lado, uma crescente vulnerabilidade surgida a reboque da informatização dos sistemas energéticos diz respeito aos ataques cibernéticos. Em sociedades livres, com economia de mercado, grande parte dos ativos energéticos está nas mãos de privados, que possuem metas financeiras próprias, o que dificulta o desenvolvimento de defesas integradas que impeçam grupos de hackers de tornar o controle de determinados ativos cruciais para o funcionamento de uma sociedade.**

Em 7/5/21, Colonial Pipeline, um sistema de oleoduto americano que se origina em Houston, Texas, e transporta gasolina e combustível de aviação principalmente para o sudeste dos Estados Unidos, sofreu um ataque cibernético<sup>12</sup> (ransomware), que afetou o sistema de gerência do oleoduto. Em resposta, a empresa interrompeu todas as operações.

**Concluindo, a tendência global de eletrificação da matriz energética e a digitalização dos sistemas elétricos deverão proporcionar crescente confiabilidade na oferta deste insumo vital da sociedade moderna, mesmo sujeito às intempéries climáticas. É possível se preparar para eventos eletromagnéticos extremos, mas não há previsão de que, em um futuro próximo, os sistemas energéticos (ou outros ativos de infraestrutura) se tornem menos vulneráveis a ataques cibernéticos.**



## Alberto Villela

Alberto Villela é engenheiro eletrônico pela PUC-Rio, mestre e doutor em Planejamento Energético pela COPPE/UFRJ. Tem 20 anos de experiência em multinacionais, na área de eletrônica e telecomunicações e 15 anos de experiência como pesquisador da COPPE/UFRJ, na área de energia e meio ambiente. É professor de cursos de pós-graduação da UFRJ, PUC-Rio, FGV, IBP e outras instituições e consultor na área de energia, mudanças climáticas e instrumentação eletrônica.



## NOTAS E REFERÊNCIAS

- 1** COP 21 – 21ª Conferência das Partes, evento anual promovido pela UNFCCC – Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas.
- 2** O IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) é uma estrutura das Nações Unidas criada para fornecer a *policymakers* informações científicas relacionadas a mudanças climáticas, suas implicações e potenciais riscos futuros.
- 3** Forçamento radiativo: “medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia de entrada e saída no sistema Terra-atmosfera e é um índice da importância do fator como um potencial mecanismo de mudança climática. Neste relatório, valores forçantes radiativos são para alterações relativas às condições pré-industriais, definidas em 1750, e são expressas em Watts por metro quadrado ( $W / m^2$ ).” (IPCC, 2007)
- 4** <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>
- 5** <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>
- 6** <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>
- 7** <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>
- 8** <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-LCOE-and-Auction-values>
- 9** [https://assets.ctfassets.net/2d5q1td6cyxq/5mRjc9X5LTxFFihITt7QK/e7bcba47217b60423a01a357e036105e/BCEI\\_White\\_Paper.pdf](https://assets.ctfassets.net/2d5q1td6cyxq/5mRjc9X5LTxFFihITt7QK/e7bcba47217b60423a01a357e036105e/BCEI_White_Paper.pdf)
- 10** [https://assets.ctfassets.net/2d5q1td6cyxq/5mRjc9X5LTxFFihITt7QK/e7bcba47217b60423a01a357e036105e/BCEI\\_White\\_Paper.pdf](https://assets.ctfassets.net/2d5q1td6cyxq/5mRjc9X5LTxFFihITt7QK/e7bcba47217b60423a01a357e036105e/BCEI_White_Paper.pdf)
- 11** <https://www.livescience.com/air-force-emp-attacks-protection.html>
- 12** <https://www.nytimes.com/2021/05/18/business/energy-environment/colonial-pipeline-security-weather.html>