

ELETRIFICAÇÃO DE QUASE TUDO

INDISPENSÁVEL PARA A ECONOMIA DE ZERO CARBONO

Alaor Chaves

A economia de alto carbono está tecnicamente superada

O aquecimento global é o maior desafio que a humanidade já enfrentou. Para cessar o aquecimento, é necessário substituir a energia oriunda da queima de combustíveis fósseis, que movimentou o mundo industrial e superpovoado e joga imensas quantidades de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Essa substituição já é técnica e economicamente viável. De fato, ela ainda não está sendo feita em ritmo acelerado por causa dos enormes subsídios que dão sobrevida aos combustíveis fósseis. Segundo o FMI, na escala global, os subsídios explícitos e implícitos concedidos a esses combustíveis somaram US\$ 5,9 trilhões em 2020 <https://www.imf.org/en/Topics/climate-change/energy-subsidies>. Portanto, o problema já não é técnico nem econômico, é principalmente político, e é possível atingir a economia de zero carbono definida no Protocolo de Kyoto em tempo curto, de duas ou três décadas.

O sol e os ventos substituirão os combustíveis fósseis

Na economia de zero carbono, quase toda a energia primária será elétrica, gerada pelo sol em painéis fotovoltaicos (energia solar) e pelos ventos em usinas eólicas (energia eólica). As energias solar e eólica já são as mais baratas do mundo, e seu custo continua caindo, principalmente a solar. A cada duplicação da potência instalada global da energia solar, seu custo decresce 30%. Hoje, na média mundial, o kWh de eletricidade solar custa US\$ 0,04, e seu custo continua caindo conforme o previsto, ou seja, muito rapidamente. O custo da energia eólica, que já é mais cara do que a solar, cai mais lentamente, mas ela é essencial na transição energética porque as duas são complementares, posto que o sol só brilha durante o dia.

O Brasil tem potencial solar e eólico elevadíssimo, e nossa produção de energia solar e eólica tem crescido de maneira quase explosiva. Em 2017 a potência solar instalada no Brasil era 1,2 GW. Em 2020, ela alcançou 7,9 GW e hoje é 32 GW. Em meados de 2019 a potência eólica instalada no Brasil atingiu 15 GW, em junho deste ano ela alcançou 25,7 GW. O crescimento tem sido tão rápido que os dados publicados ficam ultrapassados toda semana.

Nota-se, no crescimento da eletricidade limpa no Brasil, uma curiosa assimetria. Quase toda a eletricidade eólica instalada se concentra em usinas de porte médio ou grande (produção centralizada), enquanto mais de dois terços da eletricidade solar vem de micro ou miniusinas instaladas em telhados e fachadas de casas e edifícios, ou pequenos terrenos (produção distribuída). Há no país mais de

dois milhões de micro e miniusinas fotovoltaicas, e a cada dia mais de mil são instaladas. Elas são encontradas em 99% dos nossos municípios, o que demonstra a sua viabilidade econômica em todo o nosso território. A mencionada assimetria resulta de que o Brasil formulou um programa de financiamento governamental de usinas eólicas, mas não um programa análogo para a energia solar.

Um programa de financiamento governamental de usinas fotovoltaicas deveria contemplar instalações de todos os portes. Uma combinação especialmente eficaz em retorno econômico seria o financiamento de projetos de irrigação combinados à instalação de usinas fotovoltaicas nas fazendas, pois irrigação é essencialmente água mais eletricidade, exceto no caso de irrigação por gravidade. A irrigação por pivô central é a mais indicada – por isso também a mais usada – nas nossas plantações de milho, soja, feijão e algodão, mas ela consome muita energia. Hoje, essa energia é suprida principalmente por motores movidos a diesel. O Brasil ainda irriga muito pouco, menos de dez milhões de hectares, enquanto a China, muito menos suprida de água, irriga 90 milhões de hectares. O Centro-Oeste brasileiro, a maior fronteira agrícola do mundo, é também muito ensolarado – nossos políticos, que vivem em Brasília, percebem isso o tempo todo. Mas dão pouca importância econômica ao céu límpido e maravilhosamente azul do Planalto. Nas terras baixas a oeste, o que se perde é apenas o belo azul do céu.

O setor granjeiro, de aves e suínos, é muito forte no Brasil e permanece crescendo rapidamente. Essas granjas, principalmente as de aves, consomem muita energia, que deveria ser suprida principalmente por painéis solares.

Dado o altíssimo custo do capital no Brasil, o papel do governo é essencial para que nossa transição energética se acelere. O Brasil tem todas as condições para ser o primeiro país do mundo a fazer a transição energética. A ação do governo tem de envolver financiamento de parte dos investimentos, benefícios fiscais e ainda um trabalho de conscientização da população, principalmente do setor empresarial, da rapidez com que o investimento em instalações fotovoltaicas se paga. Esse tempo é de cerca de quatro anos, e isso é tão singular e importante que precisa ser amplamente divulgado. O retorno do investimento em usinas eólicas também é muito rápido, embora mais longo do que o investimento em usinas solares.

O *mixing* ideal das energias solar e eólica é dinâmico, muda ao longo da transição energética. Depende também da capacidade de armazenamento de energia para garantir o equilíbrio entre a demanda e a oferta nos ciclos dos dias e das estações. Durante a noite, quando não há produção de energia solar, o consumo é também bem menor (das 21h às 7h, ele cai para a metade do consumo diurno). No Brasil, os melhores ventos são próximos da costa oceânica e sopram do oceano para o continente. À noite, a temperatura do ar sobre o continente cai e a do ar sobre o oceano fica constante, por isso os ventos ficam mais intensos. Isso é bom, pois se necessita de menor potência eólica instalada para atender o consumo. Os ventos são também mais intensos de junho a novembro, quando há menos chuva para abastecer as represas das usinas hidrelétricas, o que é também muito bom.

Na transição energética, quase tudo será eletrificado, da cocção de alimentos à refrigeração-aquecimento de ambientes, e transporte de pessoas e cargas. O aquecimento de água pode ser feito diretamente por meio de aquecedores solares, muito baratos e de eficiência muito superior à das usinas solares e eólicas. Os carros serão elétricos, o transporte terrestre de cargas será feito principalmente por trens movidos a eletricidade. Nem mesmo os aviões e navios serão movidos a combustíveis

fósseis. Querosene de aviação pode ser produzido sem grande dificuldade a partir de etanol, os motores de navios usarão principalmente biodiesel. O Brasil pode transformar-se no maior provedor mundial dessas *commodities*.

Transmissão e distribuição de energia

Na transição energética, perdem-se dois elementos vantajosos das usinas termelétricas: elas podem ser instaladas próximas aos locais de consumo, e ligadas e desligadas a qualquer momento. Essa perda complica a garantia do equilíbrio entre demanda e oferta de eletricidade em locais diversos. A produção das usinas eólicas e fotovoltaicas é intermitente, e na maioria das vezes as grandes usinas estão localizadas em pontos distantes dos locais de consumo. Isso gera problemas.

A eletricidade no Brasil é hoje produzida principalmente em hidrelétricas, e desde os anos 1950 adquirimos crescente experiência em longas linhas de transmissão de eletricidade. O SIN (Sistema Integrado Nacional) é um dos maiores do mundo e integra quase todo o nosso território. Mas ele está sujeito a falhas que ficam publicamente evidentes nos acidentes que causam desabastecimento em grandes áreas do país. Uma sobrecarga em algum vértice do SIN, ou a chegada ao vértice de correntes defasadas uma da outra, derruba a rede, subitamente. Isso é grave, e mostra que para a transição energética temos de tornar o SIN muito mais robusto e confiável. É necessário que as fases de todos os geradores que injetam corrente em cada vértice do SIN estejam em fase, com pequena margem de segurança. É necessário também que a malha seja redundante para que dois vértices sejam interligados por vários caminhos, o que tornaria as quedas de energia muitíssimo menos prováveis. A rede tem também de ser inteligente, capaz de monitorar e analisar a dinâmica das correntes em todas as linhas. O sistema tem de ser capaz de antever a produção e a demanda nos diversos pontos e remanejar o fluxo de correntes na malha, para evitar sobrecargas e falhas de suprimento. Inteligência Artificial (IA) é indispensável para administrar toda essa dinâmica. Há no Brasil vários pesquisadores em redes elétricas inteligentes, mas é necessário aumentar seu número e associá-los a grupos capazes de criar algoritmos de IA adequados a esse campo.

Armazenamento de energia

O armazenamento de energia é visto como um dos problemas mais desafiadores da transição energética. O armazenamento pode ser feito de várias formas. Baterias eletroquímicas são indispensáveis para a movimentação dos veículos elétricos. Mas elas são incapazes de armazenar energia por prazos longos; além disso, seu uso para armazenar energia em larga escala é muito dispendioso. Para armazenamento de energia em larga escala, mas não por prazos longos, pequenas usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) têm sido usadas com sucesso, principalmente nos EUA, China e Japão. Energia pode também ser armazenada de forma química, como em biocombustíveis e hidrogênio. Não há uma única UHR no Brasil, apesar de termos enorme potencial para isso, principalmente nas montanhas do Sudeste. O Brasil tem grande experiência no armazenamento de etanol, pois 90% da sua produção ocorrem de abril a novembro. Esse armazenamento é tecnicamente simples e pouco dispendioso.

O armazenamento de energia em larga escala e por períodos longos, o mais desafiador, não é grande problema para o Brasil. Temos grande número de usinas hidrelétricas, a maioria delas provida de barragens capazes de armazenar muita água. Em um cenário em que nossa eletricidade venha principalmente de usinas solares e eólicas, nossas hidrelétricas podem ser usadas também como um sistema de armazenamento de energia capaz de garantir o suprimento, mesmo em períodos de longa seca. Para isso, os reservatórios de água seriam mantidos próximos da sua capacidade máxima nos tempos normais, não usados de forma predatória como se faz hoje. Isso traria também vários outros benefícios nas áreas de turismo e recreação, aquicultura, navegação fluvial e irrigação.

Hidrogênio verde

O hidrogênio é um poderoso armazenador de energia química liberada na sua combinação com o oxigênio para formar água. Nos anos recentes, fala-se muito no “hidrogênio verde, o combustível do futuro”. Entrei no Google com o verbete hidrogênio verde e obtive 6.790.000 resultados, e ao entrar com o verbete *green hydrogen* fui soterrado por 360.000.000 resultados. Para a mídia brasileira, esse futuro energético com uso intenso do hidrogênio parece estar prestes a chegar. Tentarei esclarecer um pouco essa questão.

O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo, mas na Terra ele está praticamente todo concentrado nas rochas, nos minérios e, principalmente, na água. Assim como a combinação de H₂ com O₂ para formar água (H₂O) gera muita energia, a separação da água em H₂ e O₂ consome muita energia. A separação é feita por eletrólise, e basicamente o processo é simples: passa-se uma corrente elétrica em um reservatório com água e obtém-se H₂ e O₂. Se eletricidade vem de fontes limpas, como a eólica e solar, tem-se o hidrogênio verde (H₂V). Mas esse reservatório (eletrolizador) é muito dispendioso. Por isso, 95% do hidrogênio produzido no mundo vem do gás natural, pelo método de reforma a vapor, o mais barato de todos. Como ele gera CO₂, o hidrogênio resultante é chamado hidrogênio cinza – há hidrogênio de várias cores. E esse hidrogênio é usado principalmente para a produção de outros compostos químicos, não para gerar energia.

A geração de energia a partir do hidrogênio é feita em células de combustível, em um processo inverso ao da eletrólise: o resultado é eletricidade, água e oxigênio. O processo de eletrólise da água tem hoje eficiência de 85%, ou seja, a energia acumulada no hidrogênio é 85% da energia elétrica consumida. O processo de oxirredução envolvido na célula de combustível alimentada por hidrogênio tem eficiência de 60%. Portanto, no ciclo de eletrólise da água e oxirredução do hidrogênio a eficiência é 51%, ou seja, apenas metade da energia elétrica usada é recuperada. E há um agravante. Depois de produzido, o hidrogênio tem de ser transportado ao local em que ele será usado para gerar energia. Como o H₂ é extremamente explosivo, seu transporte seguro é tão dispendioso que hoje o hidrogênio é transportado na forma de amônia (NH₃). Ainda não existem células de combustível de amônia (há um projeto em fase de desenvolvimento), por isso a amônia tem de ser reconvertida em H₂. Nesse ciclo também há custos e perdas de energia.

A quem interessa esse processo tão dispendioso e ineficiente de armazenamento de energia? No momento, quase que só à Europa, que hoje é grande importadora de energia e, pelo que se prevê, permanecerá sendo após a transição

energética. O processo de viabilizar economicamente o H2V será lento e muito dispendioso. Que os europeus arquem com os dispêndios necessários para a viabilização e aguardem um longo tempo, talvez mais do que uma década. O Brasil tem de estar atento a esse desenvolvimento técnico e ter consciência de que no futuro a produção de H2V pode nos render uma fortuna em euros. No momento, o importante é produzir eletricidade limpa para fazermos nossa transição energética. E há outras formas de exportar energia. Uma delas é na forma de alumínio. Quase 70% do custo do alumínio brasileiro vêm da eletricidade usada na sua produção. Outra forma é a exportação de alimentos e algodão produzidos em lavouras irrigadas.

A produção de energia limpa deverá ser um programa mobilizador

O Brasil – governo, empresas e pessoas – deve encarar nossa transição energética como um programa mobilizador capaz de por movimento uma nova fase de desenvolvimento social e econômico do país. Nossa agricultura será muito ampliada e modernizada, nossa industrialização deve ser retomada sobre outros fundamentos e tornar-se competitiva no cenário internacional. Nossa ciência e nossa tecnologia crescerão muito para sustentar todo o processo, principalmente se o país conscientizar-se da importância de desenvolver sua própria indústria de insumos para a transição – painéis solares, aerogeradores, baterias para carros elétricos, materiais especiais etc. – e sua técnica de construção de redes inteligentes de transmissão e distribuição de eletricidade.