



contribuem para o aquecimento global, no entanto pagam a conta dessas mudanças. Aplausos para a criação do fundo de compensação de perdas e danos para os países pobres / em desenvolvimento, só que na reunião da COP prevaleceu a discussão sobre quem efetivamente bancará o fundo. Vamos dizer assim: não houve quem assumisse de peito aberto esse compromisso. Essa negociação certamente levará ainda um bom tempo para chegar a um acordo. De outro lado, os esforços para a aprovação de um texto com previsão para o abandono de combustíveis fósseis na variável tempo encontraram pela frente grandes exportadores de petróleo e gás surfando na onda da grande demanda energética provocada pela guerra na Ucrânia.

Na COP 26 (Glasgow 11/2021), dentre os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil, está a expansão da malha ferroviária. O grande desafio está nas ferrovias de longo curso que operam locomotivas diesel-elétricas de tração, incluindo os grandes projetos como a Ferrovia de Integração Oeste-Leste (Fiol), a Ferrovia de Integração Centro-Oeste (Fico) e a Ferrovia Estruturante Norte-Sul. É preciso reduzir as emissões de GEE do setor de carga, com iniciativas como estímulo ao uso de biocombustíveis, energia elétrica de tração através do modelo consolidado de subestações e redes aéreas, trens tracionados a baterias, a energia fotovoltaica ou, como destaque de momento, através da geração de eletricidade de tração com hidrogênio verde associado a células a combustível, obtido por eletrólise ou reforma química.

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Modernos motores elétricos fabricados inclusive no Brasil, como o IR5 (índice de rendimento 5) super *premium* com rotor de ímã permanente, já atingem mais de 96% de rendimento. É um ganho formidável de eficiência energética, característica de uma geração de motores de alta performance e baixas perdas internas. Comparando-os com o baixo rendimento (20/30%) dos motores diesel de tração, sem falar na pauta ambiental, fica evidente que não se trata de opção planejar ferrovias eletrificadas de longo curso no Brasil, mas sim de missão. Precisamos despertar de vez para a importância de operar alternativas mais eficientes e de baixo carbono no transporte ferroviário. Destruar a logística, mitigar a emissão de carbono e melhorar o escoamento da produção de commodities é desenvolver o Brasil. Nesse sentido, a indicação é

um modelo multimodal de transporte com ferrovias eletrificadas de longo curso ligando fontes de produção a portos dotados com sistemas eficientes de movimentação e despacho de cargas e receptivos a grandes calados.

Reparem que em locomotivas diesel-elétricas a potência é limitada ao tamanho do motor. Já a potência elétrica é limitada pelas saídas de rede, que é normalmente muito maior do que qualquer locomotiva precisaria. O resultado é maior aceleração e maior velocidade que resultam em desempenho mais elevado e eficiência/produzibilidade idem.

O Capex (investimento de capital) é maior para ferrovias eletrificadas para o modelo consolidado de rede aérea de tração e subestações, contudo o Opex (custo operacional) é muito menor ao longo do tempo e ferrovias têm longa vida útil. Adicionalmente, para grandes distâncias, maiores são também as vantagens econômico-financeiras de uma ferrovia eletrificada com este modelo em relação ao diesel-elétrico.



**Quanto maior o índice de rendimento (IR), maior a eficiência do motor elétrico**

## TECNOLOGIAS EMERGENTES

Paralelamente, novas tecnologias de eletrificação emergem e sinalizam com vantagens operacionais e ambientais, como a locomotiva 100% elétrica movida a baterias. No Brasil, a Vale opera uma locomotiva de manobra de pátio na Ferrovia Vitória-Minas 100% elétrica, movida a baterias recarregáveis pela rede elétrica ou painéis solares. Faz parte de um projeto que tem como meta substituir as locomotivas diesel-elétricas de maior potência, por locomotivas movidas a bateria como medida de redução de emissão de carbono. Inclui também o biodiesel (B20), utilizado na Estrada de Ferro Carajás e Vitória-Minas

Na Austrália operam trens movidos a energia elétrica gerada por painéis solares instalados

**Locomotiva de manobra 100% elétrica operada pela Vale**



**Trem movido a energia elétrica gerada por painéis solares instalados no teto**

no teto. Esses trens utilizam também frenagem regenerativa que transforma a energia cinética dos rodeiros em eletricidade para o motor de tração.

O Metrô de Santiago (Chile) utiliza energia elétrica de tração gerada pela Usina Fotovoltaica de Pellicano (110MW) e pela Usina Eólica de San Juan (185MW), instaladas na Região do Atacama. Ambas construídas por um consórcio brasileiro.

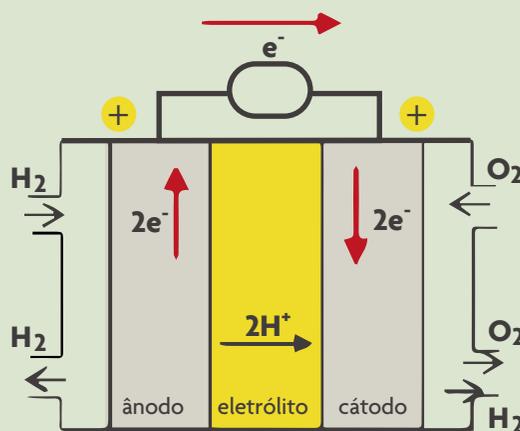
Em relação a biocombustíveis, o Brasil é referência mundial tanto na produção de biodiesel como de etanol. O etanol produzido da cana-de-açúcar é fonte renovável que, além de ajudar o País a reduzir as emissões de GEE em relação aos acordos climáticos da ONU, proporciona também uma economia circular ao aproveitar o bagaço, a palha e a ponta da cana para gerar

energia elétrica para suprir e tornar sustentável a própria usina de cana-de-açúcar, bem como vender o excedente para a concessionária de energia.

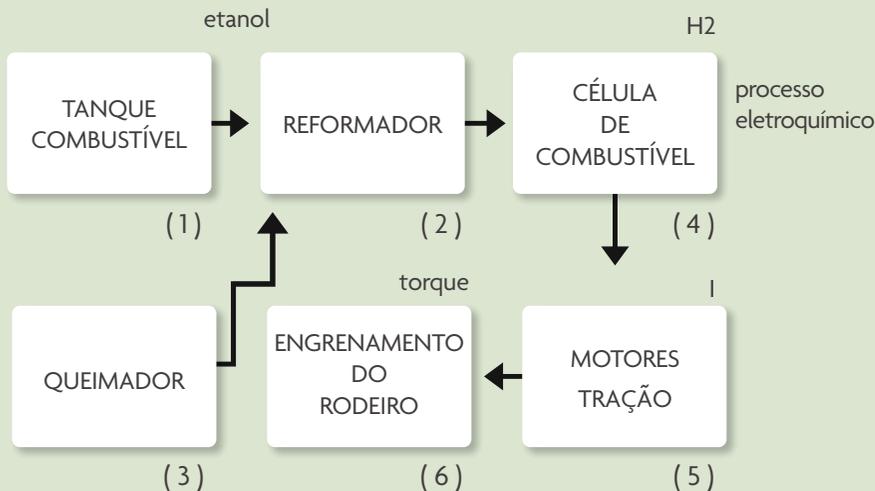
O etanol é verde, competitivo, movimenta extensa cadeia de valor e poderá vir a ser uma ponte de ligação com trens movidos a eletricidade de uma outra forma. Ou seja, está em andamento nova tecnologia para produzir hidrogênio (H<sub>2</sub>) a partir do etanol, através do processo conhecido como reforma química, o qual produz (extrai) o hidrogênio do etanol. Uma vez produzido, este hidrogênio alimenta uma célula a combustível que o converte, junto com oxigênio captado da atmosfera, em energia elétrica que movimenta as rodas. Tudo isso montado a bordo de um veículo que tanto pode ser um automóvel ou um trem. Um modelo como esse está em evolução e testes na Unicamp (SP), em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e a japonesa Nissan. Não há ainda data final firmada mas, uma vez consolidada, esta tecnologia tem grande chance de ser estendida para onde o etanol não tem entrado diretamente, como em caminhões, ônibus, embarcações e no setor ferroviário.

O hidrogênio verde para alimentar célula a combustível e gerar eletricidade pode também ser produzido através de uma outra tecnologia que utiliza eletrólise para quebrar a molécula de água e separar o oxigênio do hidrogênio, atra-

### CÉLULA A COMBUSTÍVEL



## ESQUEMA DE TREM ELÉTRICO A HIDROGÊNIO POR REFORMA QUÍMICA



vés da injeção de uma corrente elétrica. Esta corrente deve vir de fontes renováveis para que a energia produzida não emita carbono para a atmosfera e se torne sustentável (verde), como ilustrado na figura abaixo.

Modelos de trens que usam células a combustível e hidrogênio via eletrólise para a tração estão em testes finais pelo mundo, como o Coradia iLint da Alstom - França, com previsão de entrega para 2025, o Mireo Plus H da operadora Deutsche Bahn - Alemanha, 160 Km/h, autonomia 600/1.000 Km, previsão 2024, fabricado pela Siemens, o Hybari japonês da JR East, 130 Km/h, para 2024, entre outros em andamento.

Finalmente, uma locomotiva para trens de carga é uma geradora de potência variável móvel que precisa de uma fonte primária que opere conectada às questões ambientais. Neste sentido, os processos para geração de energia de tração, sejam eles elétricos, químicos, mecânicos, hidráulicos, térmicos ou fotovoltaicos, devem atender a requisitos como disponibilidade, eficiência energética e não agressão ao meio ambiente. A transição do modelo diesel-elétrico para um outro não poluente é movimento vivo energizado por pressões sociais, ambientais, tecnológicas e econômicas. Na verdade,

políticas ambientais são hoje requisitos para o posicionamento geopolítico e econômico do Brasil no cenário internacional. Assim, fabricantes e operadores ferroviários terão que se reinventar: baixa emissão de carbono é requisito inarredável em relação ao transporte e à exportação do produto nacional. Eis o desafio. ■

\* M.Sc., Engenheiro Eletricista, Engenheiro Ferroviário, Integrante do Grupo de Interesse em Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática e Inovação (CTEMI) do Clube Naval

