

O Cepel, com intuito de contribuir aos objetivos da consulta pública de ampliação das discussões e promoção do aprimoramento e da transparência do PNE 2050, está enviando sugestões e contribuições de seus pesquisadores envolvidos com a área de planejamento energético. Nestas contribuições são tratados diversos temas como a definição de cenários prospectivos de crescimento de demanda, aspectos da modelagem da oferta de eletricidade, questões específicas das fontes eólica, solar, hidroeletricidade, hidrogênio e tecnologias de armazenamento, além de contribuições visando a maior transparência da edição.

Dr. Maurício Lisboa

Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação do Cepel

## CONTRIBUIÇÕES GERAIS

Autores: Maria Luiza Viana Lisboa e Jorge Machado Damázio

**Página 4.** Consideramos que as afirmações a seguir:

*“No segundo, chamado de Estagnação, analisam-se as consequências de um cenário em que o consumo de energia per capita mantém-se inalterado ao longo de todo o período. Neste caso, a questão da expansão da produção é menos premente, embora ainda reste a necessidade de se desenhar a política energética mais adequada para atender ao crescimento vegetativo da demanda.”*

e

*“Assume-se que o segundo cenário, teria por objetivo discussões sobre o perfil mais adequado da matriz energética nacional (há um espaço para avaliar a evolução da matriz energética).”*

merecem mais esclarecimentos. O cenário Estagnação, ao considerar o consumo per capita de energia inalterado ao longo de 35 anos, é uma consideração muito pessimista para o planejamento energético de um país cujo consumo per capita apresenta níveis baixos, conforme Figura 12, na página 26. Acreditamos que este cenário possa ter uma contribuição muito pequena para o estabelecimento de uma estratégia de interesse para o país.

**Página 19.** Com relação à Figura 4, dada a importância e o montante do potencial eólico, seria bom destacar esta fonte que está incluída em “Demais”.

**Página 24.** Com relação a afirmação:

*“Cerca de 7% do consumo potencial serão atendidos por Geração Distribuída, representando quase 6 mil MW médios, enquanto a eficiência energética responde por 10% do total requisitado em 2050, o que equivaleria a pouco menos de 10 mil MW médios.”* ,

no documento Anexo do PNE2050, nos resultados detalhados das simulações referentes ao cenário Estagnação, o montante de GD é de 3.664 MW med em 2050. Seria bom esclarecer a diferença ou retificar o valor descrito no documento principal.

**Página 25.** A afirmação:

*“No cenário Estagnação, a perspectiva é de a geração centralizada continuar na faixa entre 65 mil a 70 mil MW médios, patamar que representa aproximadamente 2/3 do requisito total de energia em 2050, não apenas pelo crescimento mais modesto associado a este cenário, mas também a um aumento da participação relativa de Autoprodução e GD, cujos determinantes não se restringem apenas à evolução da atividade econômica interna.”*

merece mais esclarecimentos. A estagnação da geração centralizada (que inclui geração eólica e solar fotovoltaica) e de seus investimentos nos próximos 30 anos provocará efeitos negativos, que poderão ou não serem compensados com a dinamização da autoprodução e da geração distribuída e eficiência energética. Salienta-se que numa eventual retomada de crescimento, a cadeia industrial poderá não responder de forma adequada. A indicação dada por este cenário de crescimento praticamente apenas de GD, autoprodução e eficiência energética poderá não

conseguir atender uma eventual retomada do crescimento da demanda antes de 2050. Sugerimos estudar outro cenário alternativo com crescimento a partir de 2035, por exemplo.

**Página 69-70.** As afirmações a seguir:

*“O exercício quantitativo gera uma expansão indicativa da oferta a partir do modelo de decisão de investimentos (EPE, 2018), que define uma expansão ótima do sistema através da minimização do custo esperado total de investimento e operação, sujeito às principais restrições operativas para o atendimento, em bases trimestrais, à demanda de energia (com único patamar) e demanda máxima de potência instantânea ao longo do horizonte até 2050.”*

e

*“Dessa forma, considerou-se que as contribuições das fontes eólica e solar PV ao balanço de potência nas simulações conduzidas no PNE 2050 eram não-nulas. A contribuição para o balanço de potência respeitou a sazonalidade dessas fontes nos diferentes subsistemas de forma que a PV contribui apenas nos 1º e 4º trimestres, quando o pico de demanda ocorre à tarde, e a contribuição da eólica é maior na região nordeste....”,*

merecem mais esclarecimentos. As simulações foram realizadas com base numa modelagem que inclui a restrição de balanço de demanda de energia (um único patamar) e a restrição de balanço de potência, com contribuição nula da Potência Complementar para o balanço de demanda de energia, e contribuições não-nulas das fontes eólica e solar fotovoltaica para o balanço de potência. A utilização de um único patamar de demanda de energia é muito otimista e pode conduzir a resultados não adequados. Considerando um exemplo extremo, uma expansão determinada com atendimento exclusivo da demanda de energia e de potência por geração solar fotovoltaica e Potência Complementar, seria um resultado possível do modelo. No entanto, esta solução levaria a uma *operação real* do sistema com uma geração à noite, com custos operativos que não foram considerados na formulação do problema de expansão. Seria desejável considerar três patamares.

Neste contexto de discussão de modelagem, vale ressaltar que existem modelos internacionais e nacionais de planejamento de longo prazo, que consideram um número maior de patamares, tecnologias de armazenamento e com eficiência computacional que permitem simular o sistema elétrico brasileiro. O planejamento decenal de expansão é feito considerando quatro patamares. Para a construção dos patamares, a incerteza sobre a evolução do comportamento intradiário da demanda e da oferta das renováveis eólica e solar fotovoltaica ao longo do horizonte pode ser contornada através de cenários.

**Página 70.** Sobre a afirmação:

*“Outra questão que emerge em relação ao balanço de potência é a necessidade de complementação de potência. Como diversas tecnologias provêm esse serviço, foi escolhida a de mais fácil representação para a modelagem. Enquanto os sistemas de acumulação adicionam carga ao sistema, as tecnologias de geração com disponibilidade rápida podem ser representadas da mesma maneira que as tecnologias de geração elétrica. Dessa forma, escolheu-se para o papel de potência complementar o grupo moto-gerador a combustão interna com explosão por compressão (ciclo diesel), por seu baixo investimento, custo de operação, manutenção e combustível conhecidos e confiáveis. Optou-se adicionalmente pelo biocombustível (biodiesel) para evitar emissões de poluentes locais e globais. Por fim, qualquer*

*tecnologia que desempenhe papel semelhante a menor custo deslocará parte da opção escolhida dentro do grupo chamado de Potência Complementar.”.*

Consideramos que a facilidade da modelagem não pode justificar a escolha de tecnologia. As diferentes alternativas para esta função têm diferentes repercussões no mercado de investimentos e na operação do sistema (se instalada a nível de distribuição ou não). Compare-se, por exemplo, a instalação de usinas termelétricas a gás natural com a de grupos geradores ciclo diesel.

A geração da Potência Complementar não deverá ser nula na operação real do sistema, portanto, a disponibilidade de combustível e seu custo deveriam ser descritos no texto e melhor analisados para alguns cenários de indisponibilidades significativas de fontes renováveis (intensidade e duração).

**Página 100.** Sobre a afirmação:

*“O mundo no século XXI terá que lidar com a grande penetração de fontes solar e eólica, que introduzem maior variabilidade e menor previsibilidade na geração elétrica de curto prazo”.*

No caso brasileiro, o desafio maior está na tarefa do planejamento da expansão do sistema elétrico, que precisa determinar de forma mais adequada a expansão de fontes flexíveis de geração ou tecnologias de armazenamento e do sistema de transmissão. A tarefa da operação será tão mais difícil e cara quanto mais inadequado for o planejamento da expansão.

**Página 144.** A afirmação:

*“Tomando-se como alternativa de referência para o suprimento de Potência Complementar o grupo motogerador de combustão interna com explosão através de compressão, abastecido com biodiesel, conclui-se que o volume de combustível necessário para esse serviço é pouco significativo diante do potencial de produção nacional.”*

merece mais esclarecimentos quanto ao volume de biodiesel, principalmente em casos de indisponibilidades de maior intensidade e duração das fontes renováveis.

**Anexo do PNE 2050.** Da mesma maneira que nos PDEs, seria interessante disponibilizar os arquivos de dados dos casos simulados no portal da EPE e explicitar no texto o link de acesso aos dados. Ressaltamos o pouco detalhamento dos dados de demanda de energia elétrica e de eficiência energética.

As tabelas de resultados apresentadas após a página A-13 poderiam ser numeradas de acordo com a lista de simulações detalhadas nas páginas A-12 e A-13 para ajudar o leitor na localização dos resultados desejados. Duas simulações são referentes ao cenário de Estagnação, e suas premissas diferem apenas no que diz respeito ao potencial UHE inventariado. Seus resultados indicam uma maior expansão hidrelétrica quando se considera todo potencial de UHE inventariado, com uma menor expansão de usinas PCH e eólicas, o que sugere que pode haver projetos UHE em TI ou UC com custos mais competitivos que estas últimas.

**Página 120 da Nota Técnica de Potencial de Recursos Energéticos:** A Figura 29 não detalha quais custos são mostrados no gráfico, nem a unidade do eixo do y. Seria bom corrigir, pois gráficos da evolução dos custos de investimentos ou dos custos nivelados contribuem bastante para compreensão dos resultados. Sugerimos a inclusão da evolução dos custos de todas as fontes.

## HIDRELETRICIDADE E ANEXO

Autor: Igor Raupp e Jorge Damázio

**Página 82:** Sobre a afirmação:

*“Um primeiro resultado a se destacar é que, frente à perspectiva dos custos das diferentes tecnologias e fontes, nem todo o potencial hidrelétrico inventariado disponível deverá ser utilizado. Em outras palavras, caso as perspectivas de custos das demais fontes e tecnologias se confirmem, parte desse potencial hidrelétrico deve continuar intocado para fins de geração de energia elétrica, mesmo considerando uma expansão estritamente pelo mérito econômico dos projetos. Além disso, há fatores relacionados à aceitabilidade social de novos empreendimentos hidrelétricos que acabam criando barreiras a essa expansão da capacidade, mesmo que haja competitividade dos projetos. Esses fatores já são atualmente percebidos em diversos projetos em desenvolvimento. Nesses casos, há que se pensar, sob a ótica da política energética, em novos instrumentos de negociação sobre a alocação dos custos e benefícios dos novos projetos hidrelétricos, visando a destravar a sua viabilização.”*

Como instrumento de negociação e alocação de custos torna-se importante considerar os serviços ambientais e serviços de gestão da água fornecido pelas hidrelétricas. Como serviços ambientais (IEA, 2017): i) redução de emissões de GEE, ii) redução de emissões de poluentes atmosféricos, iii) criação de zonas úmidas, iv) gestão de micro-clima no entorno do reservatório e v) armazenamento de carbono. Exemplos de serviços de gestão da água: i) gestão da quantidade da água (controle de cheias e estiagens, estabilização de água subterrânea, e gestão de água bruta), ii) gestão da qualidade da água (oxigenação, gestão da temperatura da água, remoção de resíduos sólidos, gestão de sedimentos e barreiras à intrusão salina) e, iii) serviços ligados ao desenvolvimento regional (navegação, irrigação, lazer e turismo, aquicultura, gestão de sistemas de fornecimento de água residencial e industrial).

Assim, sugerimos reconhecer neste item a importância para o país da contribuição da hidroeletricidade para uma boa gestão integrada energia, água e alimento.

Além disso, seria interessante desenvolver tipologias de usinas hidrelétricas específicas para estas regiões mais sensíveis, de modo que estas possam ser consideradas como mais sustentáveis tendo como foco não somente o desenvolvimento socioeconômico regional, como também o conceito de vetor de conservação ambiental, como por exemplo o conceito de usina-plataforma desenvolvido dentro de um contrato entre MME, Banco Mundial e CEPEL

(<http://www.mme.gov.br/documents/36144/471984/Produto+2-36.pdf/1dcaf223-5738-c5e0-0d7b-4f0e925a49f0>).

*IEA, 2017, The Economic Value of Energy and Water Management Services Provided by Multipurpose Hydropower Projects, International Energy Agency Annex IX Summary Report (in press)*

**Página 94:** Sobre o texto:

*“Nesse sentido, é necessário evoluir nas discussões sobre estudos com uma abordagem estratégica, como uma avaliação sistêmica para projetos hidrelétricos, de modo a promover uma efetiva integração entre os diferentes atores envolvidos no desenvolvimento de projetos*

*hidrelétricos e a sistematização dos aspectos relevantes para a tomada de decisão sobre os projetos.”*

Um exemplo de melhoria na tomada de decisão dos Estudos de Inventário seria a consideração de uma nova métrica para o impacto socioambiental negativo de modo a incluir o impacto da complementação energética da alternativa, ou seja, da energia que deixa de ser produzida na bacia e terá que ser suprida por outra fonte ou por outra hidrelétrica em outra bacia. O critério econômico-energético (ICB) atualmente adotado no Manual do Inventário já considera o custo da complementação energética, sendo interessante compatibilizar os critérios econômico-energético e socioambiental. (Raupp et al., 2015)

Ainda sobre a avaliação de projetos hidrelétricos, ressalta-se a importância da consideração dos demais benefícios fornecidos por elas, como os serviços de gestão da quantidade e qualidade das águas (ver comentário sobre a página 82).

*Raupp, I.; Costa, F.; Damazio, J.; Chan, P. Propostas de aperfeiçoamento na seleção de alternativas de divisão de quedas em estudos de inventário e a explicitação de suas consequências. In: XXI SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, 2015.*

**Página 94:** *“2. Ampliar os esforços de comunicação e diálogo com a sociedade em todas as etapas do processo.”*

Outro ponto que poderia contribuir na discussão quanto a viabilização de exploração do potencial hidrelétrico ainda disponível, seria a indicação, nos Estudos de Inventário, da alternativa de máxima exploração do potencial hidrelétrico da bacia do ponto de vista técnico e econômico. Deste modo, será possível explicitar para a sociedade o potencial hidrelétrico que está sendo abdicado na bacia por conta das questões socioambientais.

**Página 95:** Sobre o texto:

*“Esse formato propõe incluir os órgãos ambientais e, possivelmente, outras instituições, na fase de identificação dos aproveitamentos hidrelétricos.”*

No desenvolvimento do conceito de usina-plataforma, foi proposta a criação de uma estrutura de comitês de acompanhamento dos projetos de UHEs em áreas mais sensíveis, subordinados a uma comissão interministerial, onde poderiam fazer parte todos os ministérios “afetados” pelos projetos do Estudo de Inventário, contando com representantes de pelo menos do MME e do MMA, a partir da qual seriam criados comitês com características e composição mais específicas. Assim, as decisões seriam tomadas tendo uma visão mais sistêmica. Estes comitês poderiam ser criados na identificação dos aproveitamentos hidrelétricos e acompanhar os mesmos durante todo o processo de licenciamento ambiental.

**Anexo PNE 2050. Página A-1:** Sobre o texto:

*“A expansão da oferta de energia elétrica no horizonte 2050 foi analisada com base em simulações de um modelo de otimização da expansão. De forma sucinta, o objetivo de uma simulação é determinar um cronograma de expansão que minimize o valor presente do custo total de investimento em novas usinas geradoras e interligações, custos operacionais e custos de déficit de energia elétrica, levando em consideração restrições de expansão, de operação, ambientais e requisitos de confiabilidade.”*

O PNE considerou as questões ambientais como restrições do modelo ou limitando a disponibilidade de potencial (cesta de projetos).

Uma ferramenta que seria bastante útil neste tipo de esforço seria os modelos de otimização multiobjetivo, incluindo a minimização dos custos (conforme realizado atualmente) e a minimização dos impactos socioambientais negativos e maximização dos positivos.

Finalmente, cabe ressaltar que num contexto de preocupação com efeitos das mudanças climáticas o estudo de planejamento da expansão deveria analisar os planos alternativos quanto à capacidade de adaptação e resiliência às mudanças climáticas (ARMC). Vale ressaltar o esforço global atual em diversas instituições de desenvolvimento de indicadores para avaliação ARMC para tecnologias no setor energético.

## ENERGIA EÓLICA

Autor: Ricardo Dutra

**Página 226.** Para que a referência “Cepel, 2017” esteja completa e que possibilite um acesso mais rápido ao conteúdo do Novo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, sugerimos o link de acesso ao conteúdo:

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro Simulações 2013* CEPEL, 2017. Disponível em <https://novoatlas.cepel.br>

**Página 100.** A afirmação “... fonte solar e eólica, que introduzem maior variabilidade e menor previsibilidade na geração elétrica de curto prazo” merece esclarecimentos quanto à previsibilidade, visto os avanços dos modelos computacionais de previsão de curto prazo.

**Página 100.** No item “Capacidade portuária com vistas ao desenvolvimento eólico offshore” vale a pena citar que o desenvolvimento da indústria de óleo e gás *offshore* poderia auxiliar no atendimento nas necessidades logísticas e de infraestrutura para o setor eólico offshore no Brasil.

**Página 102.** Os resultados referentes ao exercício “Impacto de uma expansão da geração eólica limitada” deveriam explicitar os valores da expansão eólica e das demais fontes para todos os cenários apresentados. Os valores deveriam ser explicitados com mais detalhes na Figura 40 deixando de forma clara o detalhamento da legenda verde que trata das renováveis sem a geração hídrica (REN NH). Mesmo que o capítulo foque na fonte eólica, seria muito interessante ter, também, informações das demais fontes utilizadas no estudo.

**Página 104.** Nas “Recomendações” poderiam ser considerados (i) estímulos para uma maior sinergia entre a indústria eólica offshore e a indústria de óleo e gás *offshore* presentes no Brasil hoje; (ii) Identificação de *hotspot* para conexão de plantas *offshore* no sistema interligado nacional e estimular o planejamento de reforços necessários com o objetivo de melhor aproveitamento dos potenciais eólicos *offshore* e os maiores centros consumidores.

## ENERGIA SOLAR

Autores: Leonardo Santos e Pablo Lisboa

**Página 108.** *“Em relação à tecnologia heliotérmica, seu maior diferencial é a possibilidade de maior controle de despacho por meio de sistemas de armazenamento térmico, o que reduz a variabilidade da geração e aumenta o tempo de operação diário...”*

Sugere-se incluir a possibilidade de esta tecnologia oferecer serviços ancilares ao sistema elétrico contribuindo adicionalmente para a operação e otimização do sistema.

**Página 108.** *“No entanto, nos últimos anos houve certa estagnação no desenvolvimento de novos projetos comerciais no mundo... oportunidades no futuro.”*

Sugerimos contextualizar a estagnação no desenvolvimento desta fonte, reescrevendo o texto da seguinte forma: “Porém, com a redução recente do custo dos painéis fotovoltaicos, observou-se nos últimos anos certa estagnação no desenvolvimento de novos projetos comerciais no mundo, o que retardou a redução do custo desta tecnologia, com a evolução mais lenta de uma curva de aprendizado e baixa economia de escala. Sem uma avaliação mais adequada dos benefícios relacionados ao armazenamento térmico, há a perspectiva de continuar como uma tecnologia relativamente cara para os padrões brasileiros, mesmo no horizonte de 2050. No entanto, com o aumento considerável da utilização de fontes renováveis intermitentes, a necessidade de fontes renováveis despacháveis torna-se crescente, o que pode vir a ser um nicho de mercado para a tecnologia heliotérmica, em função de sua capacidade de armazenamento. Visando aplicações futuras, é importante um acompanhamento das atividades internacionais para verificar possíveis oportunidades no futuro e, na medida do possível, realizar a implantação de usinas de demonstração no país para absorção da tecnologia e avaliação dos custos internalizados.

**Página 108.** *“Para estimativa quantitativa do potencial indicado neste Plano, foram consideradas apenas as áreas já antropizadas, ou seja, não foram incluídas áreas com vegetação nativa. Considerando apenas as melhores áreas disponíveis, com radiação superior a 6 kWh/m<sup>2</sup>.dia, seria possível a instalação de 307 GWp.”*

Sugerimos detalhar o potencial como sendo “potencial solar fotovoltaico”, e sugerimos também utilizar a expressão “radiação global diária” ao invés de apenas a palavra “radiação” utilizada no texto. Poderia ser interessante detalhar que o potencial para a tecnologia solar térmica encontra-se predominantemente na região do semiárido do Brasil.

**Página 110.** *“O mundo no século XXI terá que lidar com a grande penetração de fontes solar e eólica, que introduzem maior variabilidade e menor previsibilidade na geração elétrica de curto prazo. O Brasil também terá que superar esse desafio, otimizando a operação da sua matriz existente (predominantemente hidrelétrica), com novos investimentos necessários para garantir a adequabilidade de suprimento, assegurada a devida neutralidade tecnológica na expansão requerida”.*

Sugerimos modificar a primeira frase explicitando que a fonte solar mencionada é a fonte solar fotovoltaica. Talvez possa ser interessante adicionar a frase: “Para esta operação otimizada é desejável a introdução de grandes blocos de armazenamento adicionais, o que poderia ser parcialmente alcançado com a tecnologia solar heliotérmica.”

**Página 110.** No item “Desafios Principais”, poderia ser pertinente incluir um outro para avaliar o real benefício econômico da introdução de novos blocos de armazenamento no sistema, visto que os modelos de planejamento existentes não avaliam de forma explícita os benefícios de sistemas de armazenamento (exceto hídrico) na operação. Uma das alternativas tecnológicas a



ser investigada é a da energia solar heliotérmica, a exemplo do que tem sido realizado no mundo.

**Página 112.** Na Figura 44 – *Análise Comparada da Expansão da Capacidade Instalada de Solar PV e UHE em casos selecionados*, o tipo de gráfico pode induzir o leitor uma "certa equivalência" entre capacidade de FV e UHE. O gráfico deveria apresentar o fator de capacidade médio esperado das duas tecnologias para evitar comparações inconsistentes entre a tecnologia solar fotovoltaica e hidrelétrica.

**Página 115.** No “Mapa do caminho”, seria interessante acrescentar nas recomendações 2020-2030: “Desenvolver metodologias para incorporação nos modelos de operação do sistema dos possíveis benefícios oriundos de novos blocos de armazenamento (não hídricos) na operação do sistema elétrico”.

## TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO

Autores: Leonardo Santos Vieira e Pablo Lisboa

**Página 155.** A afirmação: *“Embora as soluções de armazenamento não agreguem energia firme, elas podem ofertar potência em momentos de maior necessidade, para tanto, precisam consumir eletricidade a fim de estarem disponíveis nos momentos em que são exigidas.”*

poderia ser considerada pouco precisa ou abrangente, e reescrita de forma a contemplar que as tecnologias de armazenamento térmico a partir de fonte solar não consomem quantidade de eletricidade significativa no armazenamento.

**Página 156.** Sobre a afirmação: *“As formas de armazenamento que terão impacto efetivo na distribuição de energia elétrica serão aquelas que têm dinâmica rápida e flexibilidade de operação como: volantes de inércia, Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR), armazenamento de ar comprimido (Compressed Air Energy Storage Systems – CAES) e as baterias. Estas últimas se apresentam como a melhor opção para várias aplicações, devido à portabilidade, escalabilidade e velocidade de atuação, podendo ser instaladas em praticamente qualquer ponto da rede, inclusive no interior da instalação do consumidor (INT/MCTIC, 2017).”*

Sugerimos incluir os sistemas de armazenamento térmico e incluir que a tecnologia mais adequada depende de vários fatores, entre eles: tempo de armazenamento desejado, potência, rapidez de resposta etc.

**Página 157.** A frase: *“A combinação de baterias com geração eólica e fotovoltaica, inclusive híbridas, pode reduzir os efeitos da variabilidade da produção e permitir melhor uso da rede.”*

poderia ser rescrita substituindo a palavra baterias por sistemas de armazenamento.

## INDÚSTRIA

Autores: Leonardo Santos Vieira e Pablo Lisboa

**Página 218. Sobre a afirmação:** *“Além disso, a exploração de potenciais de geração distribuída via fontes renováveis a partir de fontes como energia solar, PCHs e biomassa, também constitui uma oportunidade para esse segmento, que pode também explorar o potencial de uso de energia solar térmica para substituir o consumo de combustíveis fósseis em diversas situações”*

Sugerimos substituir situações por setores, justificando e incluindo referências descritas a seguir. A frase poderia ser reescrita da seguinte forma:

“Além disso, a exploração de potenciais de geração distribuída via fontes renováveis a partir de fontes como energia solar, PCHs e biomassa, também constitui uma oportunidade para esse segmento, que pode também explorar o potencial de uso de energia solar térmica para substituir o consumo de combustíveis fósseis em muitos setores, considerando que a maioria da demanda de calor para a indústria no Brasil constitui-se de processos à baixa e média temperatura (<400°C)\*.”

\*fonte: Solar Payback (2018): Energia Termossolar para a Indústria Brasil, com base nos dados do Balanço Energético Nacional 2017 (EPE 2017):

<https://www.solar-payback.com/download/energia-termossolar-para-a-industria-brasil-aout-2018/>, [https://ben.epe.gov.br/downloads/relatorio\\_final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/relatorio_final_BEN_2017.pdf);

## TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS

Autor: Francisco Lopes

**Fonte: Hidrogênio**

### **Comentários gerais**

Quanto à produção do hidrogênio, sugere-se a utilização do excesso de energia de UHEs (comercializado a um preço baixo) em eletrolisadores para a produção de hidrogênio verde. Dada a condição do Sistema Interligado Nacional e sua constituição em subsistemas regionais, pode-se utilizar a energia secundária de determinada UHE (a um custo baixíssimo) para produzir hidrogênio localmente, próximo ao ponto de utilização ou comercialização.

Quanto à utilização do hidrogênio, sugere-se/reforça-se a rota tecnológica das aplicações veiculares, que, atualmente, é um dos setores da economia brasileira que teria prioridade em um programa de descarbonização. Além do aspecto de mitigação da emissão de poluentes, o uso do hidrogênio em aplicações veiculares – considerando não somente veículos leves, como também veículos pesados e até mesmo o uso no transporte ferroviário –, fomenta o crescimento do mercado de veículos elétricos (uma vez que o veículo a célula a combustível também é elétrico) e, ao mesmo tempo, fomenta a criação de um mercado interno para uso do hidrogênio verde produzido no Brasil.

### **Comentários e sugestões**

**Página 185.** *“O uso energético do hidrogênio é conhecido há bastante tempo; pesquisas e desenvolvimento de tecnologias de células combustíveis têm sido desenvolvidos com o objetivo de viabilizar a sua utilização para a produção de eletricidade e no setor de transportes.”*

Sugerimos corrigir células combustíveis por células a combustível”

**Página 186.** *“Adicionalmente, o hidrogênio pode ser obtido a partir de fontes renováveis via eletrólise (hidrogênio verde). Essa é a rota mais limpa de todas que extraem hidrogênio de alguma fonte primária, mas enfrenta o desafio dos altos custos da eletrólise alcalina e*

*membranas de troca de próton (PEM), que tem se mostrado mais promissora recentemente, além da influência do preço da energia renovável.”*

Sugerimos adicionar ao texto a frase: No entanto, graças à interligação do sistema elétrico nacional e sua constituição na forma de subsistemas regionais, uma alternativa que pode viabilizar a produção de hidrogênio verde é o uso da energia vertida turbinável de UHEs ou da energia secundária de uma usina integrante do mecanismo de realocação de energia (MRE), que, em geral, são disponibilizadas a um preço consideravelmente baixo.

**Página 186.** *“A inserção do hidrogênio envolve a elaboração de padrões e regulação das atividades e usos. Especialmente sob os aspectos de segurança, pois este possui alta inflamabilidade, além de possuir moléculas de tamanho reduzido, podendo ocorrer a difusão em diversos materiais. Outro aspecto relaciona-se a seu transporte, já que, por conta de sua baixa densidade energética volumétrica, o transporte em longas distâncias passa a ser um desafio. Por fim, o hidrogênio pode ser armazenado, sendo o método mais interessante para longo prazo o armazenamento geológico e a compressão para armazenamento comercial.”*

Sugerimos a inclusão da seguinte frase: Uma alternativa segura para o armazenamento do hidrogênio é sua imobilização na forma sólida em hidretos metálicos, cujo desenvolvimento científico encontra-se bastante avançado, incluindo diversas instituições de pesquisa no Brasil. Em alguns países da Europa já existem produtos tecnológicos baseados em hidretos metálicos para armazenamento de hidrogênio na forma sólida.