



Empresa de Pesquisa Energética

**Caderno Especial:  
Ciclo de Debates com  
Instituto Brasileiro de  
Petróleo e Gás – IBP  
sobre Transição Energética**

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA





GOVERNO FEDERAL  
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

**Ministério de Minas e Energia**

**Ministro**

Adolfo Sachsida

**Secretário Executivo**

Hailton Madureira de Almeida

**Secretário de Planejamento e  
Desenvolvimento Energético**

José Guilherme de Lara Resende

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e  
Biocombustíveis**

Rafael Bastos da Silva



Empresa de Pesquisa Energética

*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**

Heloisa Borges Bastos Esteves

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e  
Ambientais**

Giovani Vitória Machado

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Gestão Corporativa**

Angela Regina Livino de Carvalho

**Escritório Central**  
Praça Pio X, 54 - Centro  
20091-040 - Rio de Janeiro - RJ

<http://www.epe.gov.br>

**Sede**

Esplanada dos Ministérios Bloco "U"  
Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar  
Brasília - DF - CEP: 70.065-900

# Apresentação

Com o objetivo de promover a reflexão e o debate sobre as mudanças climáticas e a transição para uma economia de baixo carbono com foco no setor de petróleo, gás natural e biocombustíveis no Brasil, a EPE, em parceria com o IBP, em 2019, promoveu um Ciclo de Debates sobre Transição Energética. Para subsidiar as discussões nos encontros que foram realizados, a EPE elaborou artigos sobre temas diversos relacionados à questão em debate, a saber:

- MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL;
- MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA;
- MUDANÇAS CLIMÁTICAS E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA;
- PANORAMA SOBRE A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA;
- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA;
- GEOPOLÍTICA DA ENERGIA;
- CIDADES INTELIGENTES (SMART CITIES).

Tais temas permanecem atuais e relevantes, motivo pelo qual foram compilados no presente caderno. Busca-se assim uma transparência ativa e a divulgação dos diversos trabalhos produzidos, contribuindo para a formulação, implementação e avaliação das políticas energéticas no Brasil.



Empresa de Pesquisa Energética

# PANORAMA SOBRE A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

ARTIGO EXTERNO, 1º DE ABRIL DE 2019

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Superintendência de Gás Natural e Biocombustíveis

URL: <http://www.epe.gov.br> | E-mail: [biocombustiveis@epe.gov.br](mailto:biocombustiveis@epe.gov.br)

Escritório Central: Av. Rio Branco, nº 1 - 11º Andar - CEP 20.090-003 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo apresentar um panorama sobre a transição energética, no âmbito do evento organizado pelo IBP e pela EPE "Ciclo de Debates sobre Transição Energética". Neste artigo, discute-se o conceito de transição energética, aponta-se as características da nova transição energética e seus impactos sobre a matriz energética primária no mundo e suas implicações para a indústria de O&G.

### Equipe Técnica

#### Coordenação Geral

José Mauro Ferreira Coelho

#### Coordenação Executiva

Giovani Vitória Machado

#### Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

#### Equipe Técnica

Angela Oliveira da Costa

Giovani Vitória Machado

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

## 1 CONCEITO

O conceito de transição energética é usualmente associado a mudanças significativas na estrutura da matriz energética primária mundial (Smil, 2010; Sovacool, 2016). Há transformações nas matrizes energéticas primárias que ficam mais restritas, sem se disseminar por diversos setores e globalmente, ainda que possam ser relevantes em países específicos, como o uso do etanol no setor transporte no Brasil e o uso da energia nuclear na geração elétrica na França (Solomon e Krishna, 2011).

As transições energéticas são processos complexos, podendo haver países ou regiões de baixa renda que não completaram as transições anteriores. Nesse caso, suas sociedades permanecem sem amplo acesso a fontes de energia modernas e de maior qualidade e densidade energéticas (Smil, 2004). Ou seja, há longa coexistência entre a fonte que caracteriza a transição energética e as fontes anteriores, que são progressivamente substituídas. Não é um processo linear e de ruptura.

A transição energética que se enfoca no presente estudo é um processo amplo, significativo e global, que impacta diversos setores, países, suas sociedades e relação com o meio ambiente.

Historicamente, as principais transições energéticas são associadas às respectivas disseminações do uso do carvão mineral nos Séculos XVIII e XIX (Primeira Revolução Industrial) e do petróleo no final do Século XIX e no Século XX (Segunda Revolução Industrial). A eletricidade também teve papel fundamental na transição energética, mas, de certa forma, foi complementar ao carvão e ao petróleo, visto que boa parte da geração elétrica estava associada a essas fontes. Antes dessas transformações energéticas que ampliaram substancialmente o uso do carvão mineral e depois do petróleo, a humanidade viveu um longo período baseado no uso progressivo de biomassa para finalidade térmica (cocção, calefação e geração de calor para manufatura – metalurgia e vidros, por exemplo) e no uso de energia endossomática (muscular) dos animais e de outras fontes primárias como a hidráulica do curso dos rios (roda d'água) e eólica (moinhos de ventos) para finalidade mecânica.

Tratam-se de processos longos, medidos em décadas, e contínuos, ao invés de revoluções, que se iniciam regionalmente e se disseminam nacional e globalmente (Smil, 2010; Fouquet, 2016; Sovacool, 2016).

A inserção do carvão mineral na matriz energética primária em substituição à biomassa (lenha, óleos vegetais e animais), à energia endossomática dos animais e de outras fontes primárias como a hidráulica do curso dos rios (roda d'água) e eólica (moinhos de ventos e embarcações a vela) foi um processo que levou mais de 100 anos (Smil, 2004). Em 1769, James Watt patenteou sua máquina térmica, principal conversor do carvão mineral em energia mecânica e base da Primeira Revolução Industrial, junto com a energia hidráulica (Landes, 1994; Hémerly et. al, 1993). Todavia, o carvão só alcança metade da matriz energética primária na virada do Século XX (Smil, 2010).

Já a inserção significativa do petróleo na matriz energética primária levou cerca de 10 décadas. Em 1859, o Coronel Drake perfurou o poço pioneiro de petróleo em Tuisville, na Pensilvânia, nos EUA (marco da indústria moderna do petróleo). A oferta desse hidrocarboneto, até então restrita (por coleta de exsudações naturais e de escavações), tornou-se abundante e barata (Yergin, 1990). A disseminação do uso de petróleo no mercado se deu originalmente para a iluminação, com o querosene substituindo óleos vegetais e animais em lâmparas no final do Século XIX. Posteriormente, acelerou-se ao longo do Século XX para diversos usos associados ao transporte (gasolina, diesel, gasolina de aviação, querosene de aviação e *bunker* para embarcações), ao uso industrial (GLP, nafta, óleo combustível, coque, solventes, parafinas, etc.) e a outros usos (gasóleo de calefação, GLP para

cocção, asfalto, etc.). Ainda que tenha constituído uma Sociedade dos Hidrocarbonetos no Século XX, o petróleo só ultrapassa o carvão mineral na matriz energética primária no pós-guerra (Yergin, 1990; Smil, 2010). Após atingir 5% da matriz energética primária mundial, o recurso ainda levou mais 40 anos para alcançar 25% (Smil, 2013).

Cabe ressaltar que as mudanças na matriz energética primária consistem apenas na parte diretamente mais visível dessas transições. Isto porque a transição energética traz consigo profundas alterações na base tecnológica dos conversores (a máquina térmica associada ao carvão mineral; os motores a combustão interna, as turbinas aeronáuticas e a gás, e processos químicos associadas ao petróleo), nos padrões de consumo e nas relações socioeconômicas e ambientais. A própria relação tempo-espaço muda com as transições energéticas, à medida que os serviços de mobilidade se tornam mais eficientes e eficazes. Fato que retroalimenta mudanças nas relações socioeconômicas e ambientais via alterações nos fluxos de comércio e nos padrões de consumo das sociedades.

Tais transformações que acompanham as transições energéticas trazem também implicações para a geopolítica da energia, ao alterar as correlações de força entre os países ou regiões e seus respectivos *stakeholders*. As modificações impactam produtores e consumidores da fonte primária hegemônica e suas cadeias tecnológicas associadas, bem como o leque de bens e serviços produzidos a partir dessa base tecnológica ou que lhe sejam relacionados. Ademais, redistribuem impactos sobre o meio ambiente e sobre a sociedade e sua apropriação de riqueza.

## 2 A NOVA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E A ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

Há diversos elementos que apontam que o mundo passa por uma nova transição energética embasada em condicionantes como desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas e inovações tecnológicas associadas à eletrônica e à entrada na era digital. Esse conjunto de fatores está moldando as modificações nas matrizes energéticas primárias e finais em todo o mundo, ainda que o ritmo seja distinto geograficamente.

A nova transição energética consiste em um processo de transformações no sentido de uma economia de baixo carbono e

menor pegada ambiental, incrementando a eficiência no uso das diferentes fontes de energia e substituindo, progressivamente, recursos energéticos com maiores intensidade de carbono e pegada ambiental por aqueles com menores emissão de gases de efeito estufa (GEE) e impacto ao meio ambiente. Nesse sentido, há estímulos ao uso mais eficiente dos recursos energéticos e à redução da participação do carvão mineral e do petróleo na matriz energética primária mundial em favor de fontes renováveis e da eletrificação dos conversores – em associação à maior automação e digitalização de processos, controles e serviços.

## 2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SUSTENTABILIDADE

A pergunta-chave da nova transição energética é: qual será seu ritmo? Historicamente, como já discutido, as transições são longas, medidas em muitas décadas. Todavia, os riscos associados às mudanças climáticas globais e à capacidade de suporte do meio ambiente colocam como pano de fundo a esse processo um senso de urgência para a humanidade que não estava presente nas transições anteriores.

Assim, o ritmo da nova transição energética será uma resultante de aspectos relacionados à capacidade dos sistemas socioeconômicos em acomodarem as transformações. Isso porque seu custo socioeconômico pode excluir do mercado contingentes populacionais de menores níveis de renda e afetar suas oportunidades econômicas e sociais, o que não apenas retardará o ritmo da transição como poderá implicar em outros impactos, sociais e ambientais.

## 2.2 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: ERA DIGITAL E BIOTECNOLOGIA

O advento da eletrônica e sua progressiva difusão criaram a base para a entrada da humanidade na era digital. Trata-se de um componente fundamental para a nova transição energética, visto que contribui para a substituição de energia e materiais por informação. A era digital permitirá uma série de inovações tecnológicas que promoverão um forte aumento da eficiência energética, assim como possibilitarão a ampliação do uso de fontes renováveis como a energia eólica, solar e dos oceanos (maré motriz, ondas, etc.).

Nanotecnologia, *smart-grid*, “internet das coisas”, indústria 4.0, impressora 3D, cidades inteligentes, por exemplo, são conceitos da era digital que implicarão enormes transformações no setor energético nas próximas décadas. O mesmo ocorrerá com a biotecnologia que poderá gerar uma revolução no setor de biocombustíveis e de bioprodutos, ampliando as aplicações de economia circular. Note-se que a biotecnologia poderá prover o ganho de eficiência na produção de biocombustíveis, tanto na parte agrícola quanto industrial, aumentando a produtividade global deste segmento. Destacam-se o desenvolvimento de variedades transgênicas e enzimas, assim como a adaptação das etapas de processo para oferta de novos produtos. Neste contexto, é oportuno ressaltar o papel das biorrefinarias, que integram processos de conversão de biomassa em

Não por acaso, a definição de desenvolvimento sustentável proposta no Relatório *Brundtland* da *World Commission on Environment and Development* (1987) abrange o equilíbrio das dimensões econômicas, sociais e ambientais. É calcado nesse conceito que as negociações sobre mudanças climáticas globais estabeleceram, em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Conferência da Rio 92), o princípio da “*responsabilidade comum, mas diferenciada*”.

Em síntese, o ritmo da transição dependerá: da percepção social e da valoração dos impactos das mudanças climáticas vis-à-vis seus custos de abatimento; da economicidade e da disseminação das inovações tecnológicas; e, das políticas públicas a serem estabelecidas para esse fim. Cumpre observar que, conforme sinalizam as previsões das agências internacionais de energia, das empresas e governos, a nova transição energética deverá ser mais rápida do que as anteriores, mas é improvável que seja curta.

biocombustíveis, insumos químicos, materiais, alimentos, rações e energia. Estas instalações mostram-se como solução para otimizar o uso de recursos e minimizar os resíduos, maximizando os benefícios e o lucro, e fazem parte da agenda de PD&I da maioria dos países desenvolvidos e também do Brasil.

Tais tecnologias viabilizarão uma série de outras transformações e serviços, assim como mudanças de hábitos e de padrão de consumo. Acredita-se que o “chip” e o “DNA” poderão ter papel equivalente à máquina térmica, ao motor a combustão interna e ao dínamo, transformando substancialmente as sociedades contemporâneas.

Por exemplo, a disseminação de soluções inteligentes para as cidades (cidades inteligentes) possibilita torná-las mais produtivas, com menos ocorrências de trânsito, com menos congestionamentos e emissões de poluentes (EPE, 2018). Neste contexto, encontram-se a mobilidade como serviço e a mobilidade compartilhada (*car sharing* e *ride hailing* ou *ride-sharing*, por exemplo). De acordo com pesquisas, o *car sharing* pode substituir de 4 a 15 veículos particulares nas ruas (ITDP, 2017). Já o *ride hailing* ou *ride-sharing*, como os serviços oferecidos pela Uber e pela Lyft, é cada vez mais difundido nas grandes cidades. No futuro, o veículo autônomo permitirá que proprietários ofereçam serviços, quando não estiverem utilizando seu veículo, ou que investidores tenham frotas para oferecer serviços de mobilidade àqueles indivíduos que preferam

não ter a posse de um veículo privado, como parece ser a preferência da geração do milênio.

### 2.3 ELETROMOBILIDADE<sup>1</sup>

As cadeias energéticas associadas ao setor transporte serão particularmente afetadas pela nova transição energética. Em um contexto de mudanças climáticas e de políticas ambientais, oscilação de patamar de preços de petróleo, surgimento de novas fontes de energia competitivas, de riscos geopolíticos, de significativas inovações tecnológicas eletroeletrônicas e de alterações de hábitos, o setor transporte certamente sofrerá modificações consideráveis no futuro (EPE, 2019).

Há, nesse sentido, um intenso debate internacional sobre as profundas transformações que a indústria automobilística passará nas próximas décadas. Conforme destacado por EPE (2019), as transformações abrangem: mudanças da plataforma tecnológica de propulsão veicular de combustão interna para híbrida e/ou elétrica; de modelo de negócios de posse de veículos para o de compartilhamento; de preferência de consumidores sobre mobilidade; sobre obter, ou não, habilitação de direção automotiva (por escolha sociocultural ou por veículo autônomo); entre outras.

Para reduzir as emissões veiculares (locais e globais) e aumentar a segurança energética, vários países têm buscado estratégias que lhes permitam atingir esses objetivos. Em particular, são definidas políticas para o incremento da eficiência veicular, seja para a melhoria das tecnologias existentes ou, em casos mais extremos, com a substituição da combustão interna e adoção de novas tecnologias automotivas. Os veículos elétricos e híbridos assumem, nesse contexto, o papel de alternativas disruptivas às tecnologias convencionais (combustão interna) da indústria automotiva. Ressalte-se que tal substituição somente representará uma diminuição na emissão de GEE caso a geração elétrica possuir elevada participação de fontes renováveis e/ou de baixo carbono. São oportunidades de novos negócios que se colocam em um novo ciclo tecnológico e de mercado, bem como criam e/ou ampliam cadeias de fornecedores de bens e serviços associados (EPE, 2019). Cabe ressaltar que a eletromobilidade também facilita a integração de outros conceitos fortes nas

inovações do setor automotivo: a automação, a conectividade e a segurança.

O ritmo de entrada da eletromobilidade nos transportes e a predominância das novas rotas tecnológicas veiculares são incertezas críticas que impactam diversas cadeias energéticas e industriais e seus *stakeholders* (incluindo fornecedores de bens e serviços): automotiva, petrolífera, bioenergia, eletricidade, transportes, cidades, consumidores e cidadãos (EPE, 2019). A eletromobilidade será um ponto fundamental da nova transição energética, um *game changer*. De qualquer forma, não é possível definir precisamente o tempo dessa mudança, mas, no cenário de referência, não se espera que a entrada dos veículos elétricos seja rápida, havendo um longo e progressivo processo de eletrificação que passará, inicialmente, pela hibridização dos automóveis (EPE, 2019).

Os planos de investimento anunciados pelas montadoras em tecnologias mais eficientes e veículos elétricos somam US\$ 168 bilhões, em diferentes horizontes, representando 35% do investimento das companhias pesquisadas em 2016 (Lins et al, 2018). Adicionalmente, McKinsey & Company (2016) estimam que as receitas do setor automotivo poderão crescer mais de 30% no horizonte 2030 em função de serviços de mobilidade e de dados de condução (*data-driven services*), incrementando em cerca de US\$ 1,5 trilhão ao potencial de receita. Ressalte-se que as vendas de veículos tradicionais geraram em torno de US\$ 5,2 trilhões e o pós-venda US\$ 3,5 trilhões em 2015 (McKinsey & Company, 2016).

As estratégias de lançamento de novos modelos híbridos e elétricos e de foco em negócios associados podem ser particularmente interessantes em mercados maduros e saturados, nos quais a rentabilidade da indústria depende de renovação da frota e de novos negócios. Assim, caso as condições de mercado e as preferências dos consumidores sancionem essas tendências, mercados com maiores níveis de renda e restrições ambientais podem registrar uma aceleração da entrada da eletromobilidade (EPE, 2019).

<sup>1</sup> Essa seção é fortemente baseada em EPE (2019).

### 3 IMPLICAÇÕES PARA A MATRIZ ENERGÉTICA E PARA A GEOPOLÍTICA DA ENERGIA

A nova transição energética trará mudanças significativas na matriz energética primária em favor de fontes de menor emissão de GEE e menor pegada ambiental. Sem dúvida, o binômio petróleo-combustão interna, que caracterizou a fase anterior, a Sociedade do Petróleo, será afetado. Outros binômios associados à indústria do petróleo também serão afetados, em alguma medida, como a turbina aeronáutica-querosene de aviação e a base petroquímica de materiais – que passará a sofrer também disputa não só com o gás, mas também com bioprodutos.

Ainda assim, em diversos estudos de cenários, o petróleo continuará sendo a principal fonte de energia na matriz energética primária mundial nas próximas décadas (BP, 2018; SHELL, 2018, IEAa, 2018). A indústria petrolífera tem se mostrado fundamental para o desenvolvimento econômico das nações, seja pelo caráter estratégico do recurso, seja por fatores geopolíticos. O petróleo reduziu sua participação nas últimas décadas, contudo manteve seu protagonismo na oferta de energia e sua substituição não deverá ser rápida.

O fato é que as necessidades energéticas do mundo permanecem crescendo. Projeta-se que a demanda energética deverá crescer aproximadamente 1/3 até 2040, a ser atendida tanto pelo uso de óleo e gás não convencional, quanto por renováveis como eólica e solar. O rápido crescimento das renováveis está construindo uma matriz energética primária mais diversificada, sem correspondente no passado, mas a demanda energética continua se ampliando. Essa oferta variada e abundante conduzirá a um mercado desafiador para os investidores e muito competitivo (BP, 2018; EXXONMOBIL, 2019).

As estimativas futuras para energia primária no cenário *Energy Transition* – ET da BP apontam para um crescimento no uso final por setor no período de 2020 a 2040. Nota-se que o petróleo ainda ocupará posição de importância em 2040, com 27% da matriz (BP, 2018). A redução de 7 pontos percentuais em comparação aos dados de 2017, é compensada pelo crescimento da participação do gás natural (saindo de 23% para 26%) e, principalmente, pelas renováveis (aumento significativo, de 4% para 15%). Haverá forte queda do carvão (28% para 20%), enquanto as hídricas e nucleares se manterão estáveis em 4% e 7%, respectivamente (BP, 2018). A região que terá a maior parte da sua energia primária atendida pelas renováveis em 2040 deverá ser a UE, com 53%, seguido por EUA (34,3%), China (29,9%) e Índia (27,8%).

Visão qualitativamente similar é apresentada no cenário NPS (*New Police Scenario*) da IEA (IEAa, 2018), que estima que, em 2040, a participação do petróleo na matriz de energia primária cairá de 32% para 30% e a do carvão de 27% para 22%. Já o gás natural aumenta sua contribuição de 22% para 25%, enquanto o somatório de renováveis e biomassa sólida aumenta de 15% para 20%. Quanto à demanda regional de petróleo, é observada uma queda na participação da América do Norte e Europa e aumento no Oriente Médio, África e Ásia Pacífica, especificamente China e Índia (IEAa, 2018; SHELL, 2018). Projeções para energia primária no Cenário *Sky* da Shell também mostram redução das participações de petróleo e gás natural para 2050 e aumento significativo das renováveis, eólica e solar principalmente, bem como da biomassa, biocombustíveis líquidos e gás natural (SHELL, 2018).

Ressalte-se que uma alteração significativa deve ser observada na matriz de transporte. A penetração de veículos híbridos e elétricos, bem como a disseminação de outros modelos de compartilhamento de veículos leves e aumento de eficiência, conforme discussão já efetuada neste documento, impactam diretamente no consumo de combustíveis neste segmento (IEAa, 2018; SHELL, 2018).

Além da eletrificação dos transportes (sobretudo leves), como discutido anteriormente, esse segmento de mercado também será afetado, em certa medida, pela maior utilização dos biocombustíveis. Esse impacto será maior ou menor, à medida que os biocombustíveis de segunda geração (2G) tenham maior ou menor êxito em seu *scale up* e disseminação.

Ainda que a nova transição energética se caracterize por uma maior eletrificação, o setor elétrico também passará por muitas modificações: maior competição das centrais elétricas com geração distribuída (GD); maior entrada de fontes renováveis como a energia eólica e a solar, trazendo desafios ao sistema em função de sua variabilidade de oferta (fontes não despacháveis); maior papel do gás natural na geração elétrica não só por sua maior eficiência e menor emissão de GEE em relação a outros combustíveis fósseis, mas também devido a características de partida rápida das turbinas a gás e por ser uma fonte despachável, garantindo a flexibilidade e maior confiabilidade do sistema, o que permitirá a expansão das novas renováveis; maior inserção de baterias, que também poderão dar flexibilidade e confiabilidade ao sistema elétrico; incremento da eficiência energética, reduzindo a demanda de energia e impactos ambientais (IEAa, 2018; BP, 2018; SHELL, 2018). Tal aumento de complexidade e flexibilidade requererá a disseminação de *smart-*

*grid* no setor elétrico a fim de assegurar a adequada funcionalidade do sistema. Será a era digital do setor elétrico, inserindo maior controle, autonomia e agilidade nas tomadas de decisão (MIT Energy Initiative, 2016).

Todas essas transformações nas matrizes energéticas primária e final no mundo trarão conjuntamente alterações geopolíticas significativas, tanto no que tange à geografia da disponibilidade de fontes primárias, quanto no que concerne ao domínio tecnológico do conversor e da cadeia de fornecedores de bens e serviços. A eletrificação, em particular, pode impor uma nova geopolítica da energia, à medida que o acesso e o controle de elementos relacionados às baterias têm implicações consideráveis sobre a segurança energética dos países. Pelo lado dos países produtores de petróleo e gás natural, também pode haver implicações econômicas e sociais substanciais.

#### 4 FIM DA INDÚSTRIA DE O&G?

Nesse contexto, cabe perguntar: a nova transição energética levará ao fim da indústria de O&G?

Respostas muito simples para fenômenos complexos costumam estar erradas. O fato é que a indústria de O&G poderá se adaptar na nova transição energética, se transformando em algo diferente do que é. Trata-se de se reinventar, como já fez historicamente algumas vezes.

Como já mencionado, deverá haver uma longa coexistência entre as fontes anteriores e a que as substitui, pois o processo de transição é complexo. Assim, a transição energética deverá ser gradual e sua velocidade dependerá, dentre outros fatores, de políticas públicas, novas tecnologias e preferências sociais na produção e consumo energético (BP, 2018).

Os derivados de petróleo ainda desempenharão papel de destaque nas próximas décadas. Dentre as diversas fontes que compõem a matriz primária, o gás natural figura como o principal combustível neste processo, não somente pela migração para uma economia de baixo carbono, mas também pela ampla base e expansão contínua do GNL e aumento da disponibilidade global de gás natural (BP, 2018). Tal incremento auxiliará tanto na diversificação da matriz elétrica, com a inserção das novas renováveis, quanto na sua confiabilidade.

Diante das mudanças previstas, onde a inserção das fontes eólica e solar intensificarão sua participação na geração de energia elétrica, acredita-se que haverá uma progressiva migração da *expertise* que compõe a indústria petrolífera no sentido de

Em suma, a nova transição energética favorecerá a eletrificação, tendo como objetivo incrementar a participação de fontes renováveis, os biocombustíveis, a eficiência energética e o gás natural, que se constituirá no combustível da transição. O gás natural será o elo entre os paradigmas tecnológicos dos combustíveis fósseis e dos renováveis ao viabilizar a compatibilização do atendimento crescente da demanda de energia mundial com a maior introdução de fontes renováveis não despacháveis. Adicionalmente, o gás natural poderá ter sua intensidade de carbono reduzida ao longo da transição energética, uma vez que o biogás/biometano amplie sua participação na oferta. Esses processos impactarão inequivocamente a geopolítica da energia.

De qualquer forma, essa transição dificilmente será curta.

permitir o uso de fontes renováveis e reduzir a pegada ambiental da indústria de O&G. A elevada competência técnica construída ao longo da Era do Petróleo poderá ser direcionada para otimizar o uso de renováveis, como já vem ocorrendo em alguma medida. A indústria eólica com a expansão do seu uso *offshore*, bem como a maré motriz, energia das ondas e a energia térmica dos oceanos pode se apropriar dos conhecimentos adquiridos para plataformas de exploração, como a dinâmica dos oceanos e das correntes marinhas.

Nesse sentido, é interessante ressaltar a criação em março de 2013 do *IEA Gas & Oil Technology Collaboration Programme* (GOT), cujo foco é explorar o nexo entre hidrocarbonetos e renováveis por intermédio das sinergias das tecnologias transversais (i.e., aplicáveis a ambas as indústrias). Particularmente, vários *insights* e projetos sobre o nexo hidrocarbonetos-renováveis foram apresentados nos Workshops “*Nexus of Oil & Gas and Renewables in the Energy Future*”, organizado pelo *National Renewable Energy Technology Laboratory* em 27 e 28 de setembro de 2017 (Golden, Colorado) (DOE, 2019) e “*On the role of the renewable and hydrocarbon nexus in accelerating the energy transition*”, organizado pela IEA GOT em 11 e 12 de outubro de 2018 (Bruxelas, Bélgica) (IEAb, 2018).

A indústria de biocombustíveis também será beneficiada com esse conhecimento, seja através da utilização das refinarias para processar óleos de origem vegetal com a obtenção de HVO, gasolina verde e bioquerosene de aviação (Biorefereries Blog, 2017), seja pela utilização da cadeia logística já bastante ramificada pela indústria petrolífera (HYDROCARBON

PROCESSING, 2018). A produção de combustíveis sintéticos através das refinarias ou de processos dos quais se possa obter combustíveis líquidos *drop-in*<sup>2</sup> se dará principalmente via liquefação direta (hidrocraqueamento) ou indireta – gaseificação e Fischer Tropsch ou, ainda, através de captura e estocagem de carbono (CCS – *Carbon Capture and Storage*) associada a processos *Carbon To Liquids* - CTL<sup>3</sup> (HYDROCARBON PROCESSING, 2018).

Adiciona-se que, no longo prazo, o hidrogênio poderá compor a futura matriz primária de forma mais acentuada (SHELL, 2018). Desta forma, deverá ser intensificado o uso de refinarias para obtenção deste combustível tendo como origem a reforma a vapor do gás natural, processo pelo qual já se obtém a maior parte do hidrogênio no mundo. Refinarias são uma necessidade para o futuro próximo (KLAUSE, 2017)

A possível precificação do carbono poderá impulsionar o uso da tecnologia de CCS, não só para as fontes fósseis como também para os biocombustíveis diminuindo ainda mais a concentração de GEE na atmosfera (SHELL, 2018). Parte do conhecimento necessário para esta operação já é dominado pela indústria do petróleo, que recorre da tecnologia de injeção de gás para incrementar a produção de petróleo nos poços já perfurados (*gas lift*).

Complexos energéticos ou refinarias do futuro apresentam outras necessidades para atender o novo perfil de projeto, construção e operação de plantas na era digital. Características tais como elevada automação, com informações em tempo real, envio de bancos de dados na nuvem e administração de *big data* são recursos que devem estar presentes nos novos projetos (HYDROCARBON PROCESSING, 2018).

Enfim, ao longo da nova transição energética, a indústria de O&G vem se metamorfoseando em indústria de energia, ampliando seu escopo e ofertando não apenas petróleo, seus derivados e gás natural, mas também outras fontes de energia e serviços de infraestrutura. A indústria de O&G se baseou, até agora, na energia concentrada em transformações físico-químicas de material orgânico comprimidos em bacias sedimentares por milhões de anos. Para manter sua energia para outros milênios, será necessário encontrar caminhos competitivos para ofertar fontes de baixo teor de carbono e menor pegada ambiental. A rigor, aproveitando sua expertise técnico e científica, bastará trocar de nome, pois energia se transforma.

<sup>2</sup> Combustíveis passíveis de serem utilizados diretamente nos motores, puros ou misturados com análogos fósseis, sem a necessidade de aditivos, por possuírem características químicas e de desempenho equivalentes.

<sup>3</sup> Processo que converte gás de síntese (advindo de fonte diversas através da gaseificação, mistura rica em CO e H<sub>2</sub>) em combustíveis líquidos, através, por exemplo, do processo Fischer-Tropsch.

## Referências

- 1) British Petroleum – BP (2018) “BP Energy Outlook – 2018 edition”. Disponível em: [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de\\_ch/PDF/Energy-Outlook-2018-edition-Booklet.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/Energy-Outlook-2018-edition-Booklet.pdf). Acessado em 27 mar. 2019.
- 2) Biorefineries Blog (2017) – “Hydrotreated Vegetable Oils (HVO) Biorefineries – The rise of renewable diesel”. Disponível em: <https://biorrefineria.blogspot.com/2015/09/hydrotreated-vegetable-oils-hvo.biorefineries.html>. Acessado em: 28 mar. 2019
- 3) Department of Energy – DOE (2019) “Hydrogen Production: Natural Gas Reforming”. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>. Acessado em 28 mar. 2019
- 4) EPE (2019). Eletromobilidade e Biocombustíveis. Documento de Apoio ao PNE 2050 - Estudos de Longo Prazo. Rio de Janeiro: EPE.
- 5) ExxonMobil (2018) “Outlook for Energy: a View to 2040”. Disponível em: <https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Energy-resources/Outlook-for-Energy/2018-Outlook-for-Energy-A-View-to-2040#aViewTo2040>. Acessado em: 28 mar. 2019.
- 6) Fouquet, Roger (2016). “Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation”, *Energy Research & Social Science*, 22, Dec 2016: 7–12.
- 7) Hémerly, Daniel; Bebie, Jean Claude; Deléage, Jean-Paul (1993). Uma história da energia. Brasília: Editora UNB.
- 8) Hydrocarbon Processing (2018) “Digitalization for the refinery and plant of the future”, in: *Special Focus: Refinery of the future*. Junho, 2018. Disponível em: <https://www.hydrocarbonprocessing.com/magazine/2018/july-2018/special-focus-refinery-of-the-future/digitalization-for-the-refinery-and-plant-of-the-future>. Acessado em 28 mar.2019.
- 9) International Energy Agency – IEA (2018) “World Energy Outlook 2018”. Disponível em: <https://www.iea.org/weo2018>. Acessado em 26 mar.2019.
- 10) \_\_\_\_\_ - IEAb (2018) “Workshop on the role of the renewable and hydrocarbon nexus in accelerating the energy transition” Disponível em: <https://www.gotcp.net/copy-of-2-day-workshop-in-brussels>. Acessado em 28 mar.2019
- 11) KLAUSE, Bailey (2017) “The future of Sustainable Refineries” Exploring Pollution and the Environmental Impacts Associated with Petroleum Refining. Disponível em: <http://scalar.usc.edu/works/petroleum-refineries-and-the-future/the-future-of-sustainable-refineries>. Acessado em 28 mar. 2019.
- 12) Landes, David S. (1994). *Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, desde 1750 até a nossa época*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- 13) Lins, Clarissa; Morais, Raoni; Ferreira, Guilherme (2018). *Revolução elétrica: um cenário possível para a mobilidade no Brasil?* Rio de Janeiro: Catavento (paper 10 – jun/2018).
- 14) McKinsey & Company (2016). *Automotive revolution – perspective towards 2030. How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry*. Advanced Industries January 2016. Munich: McKinsey & Company (2016).
- 15) Royal Dutch Shell – SHELL (2018) “Cenários Shell SKY – Alcançando as metas do Acordo de Paris”. Disponível em: [www.shell.com/skyscenario](http://www.shell.com/skyscenario). Acessado em 27 mar. 2019.
- 16) Smil (2013). “Energy Transitions”, in WEF. *Energy Vision 2013 Energy transitions: Past and Future*. Geneve: World Economic Forum.
- 17) Smil, Vaclav (2004). “World History and Energy”, in *Encyclopedia of Energy*, volume 6: Elsevier.
- 18) Smil, Vaclav (2010). *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Santa Barbara: Praeger/ABC CLIO.
- 19) Solomon, Barry D. e Krishna, Karthik (2011). “The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook”, *Energy Policy*, 39 (11), November 2011: 7422–7431.
- 20) Sovacool, Benjamin K. (2016). “How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions”, *Energy Research & Social Science*, 13, March 2016: 202-215.



Empresa de Pesquisa Energética

# GEOPOLÍTICA DA ENERGIA

ARTIGO EXTERNO - 10 DE MAIO DE 2019

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Superintendência de Petróleo

URL: <http://www.epe.gov.br>

Escritório Central: Av. Rio Branco, nº 1 - 11º Andar - CEP 20.090-003 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo apresentar a inserção do Brasil no contexto da geopolítica mundial da energia, no âmbito do evento “Ciclo de Debates para Transição Energética”, organizado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Neste artigo, discute-se o conceito de geopolítica da energia, o panorama energético mundial e a inserção do Brasil no contexto geopolítico de transição energética.

## EQUIPE TÉCNICA

### Coordenação Geral

José Mauro Ferreira Coelho

### Coordenação Executiva

Marcos Frederico F. de Souza

### Coordenação Técnica

Marcelo Cavalcanti

### Equipe Técnica

Carlos Augusto Góes Pacheco

Filipe de Pádua F. Silva

## I. O CONCEITO DE GEOPOLÍTICA DA ENERGIA

A palavra geopolítica foi cunhada no final do século XIX pelo cientista político sueco Rudolf Kjellén, sendo originalmente apresentada como a ciência do Estado enquanto organismo geográfico. Para Kjellén, a geopolítica seria uma ciência para o exercício do poder político do Estado e para fornecer uma visão estratégica para a política internacional.

Ao longo das primeiras décadas do século XX, o conceito de geopolítica ganhou destaque, sendo moldado pelos acontecimentos da época, em especial, a Primeira e a Segunda Guerra Mundial.

De forma geral, entende-se a geopolítica como a relação entre processos políticos e características geográficas. No entanto, as concepções modernas de geopolítica são mais amplas e abrangem dimensões como, por exemplo, a geográfica, a política, a econômica, a ambiental, a cultural e, objeto deste artigo, a dimensão energética.

A geopolítica da energia refere-se ao estudo da segurança nacional e da política internacional no contexto do cenário energético global. Dessa forma, analisam-se elementos geográficos, estratégicos e político-econômicos que influenciam o controle de reservas de

energia, tecnologias de exploração e produção, infraestrutura energética, rotas de transporte e uso final da energia.

As variáveis de estudo da geopolítica da energia incluem não somente a distribuição geográfica das principais reservas de recursos energéticos, e a localização dos principais países exportadores e importadores (e de grandes centros produtores e consumidores), como também a disputa pela renda advinda do recurso. Ademais, examina-se o papel dos embates políticos e estratégicos entre Estados importadores e exportadores e/ou disputas entre grandes consumidores de energia. Por fim, investigam-se estratégias adotadas por países, blocos supranacionais e grandes potências para garantir sua própria segurança energética e, até mesmo, influenciar outros países no campo da energia (Campos e Fernandes, 2017).

Entre as questões geopolíticas que influenciam a oferta interna e o consumo final de energia, destacam-se: conflitos e tensões comerciais que geram volatilidade aos preços internacionais do petróleo e seus derivados; políticas energéticas e ambientais que incentivam a transição para economia de baixo carbono; e políticas

governamentais e empresariais de fomento às energias renováveis e inovação tecnológica. Outros fatores relevantes que afetam o mercado internacional incluem instabilidade em regiões produtoras de hidrocarbonetos ou de outros recursos minerais, devido a fatores domésticos, regionais e internacionais; esgotamento de reservas; e a abertura de novas rotas de escoamento de produção.

Recursos naturais, como petróleo, carvão e gás natural, constituem variáveis primordiais para a estratégia nacional e internacional de países e blocos econômicos regionais. Nesse sentido, os recursos energéticos têm sido historicamente um elemento essencial para o desenvolvimento socioeconômico de países, influenciando, sobremaneira, suas políticas externas.

Nos últimos dois séculos, os combustíveis fósseis têm sido a base do sistema energético mundial, do crescimento econômico e do estilo de vida da sociedade. Com isso, os combustíveis fósseis moldaram o

ambiente geopolítico do mundo moderno e tiveram um impacto significativo na riqueza e segurança das nações (IRENA, 2019).

Em particular, a indústria do petróleo é organizada em torno de uma atividade que envolve grande economia de escala, altos riscos, elevados custos e significativas barreiras à produção de uma *commodity* não renovável. Além disso, a indústria extrativa mineral possui características de mercado oligopolista<sup>1</sup>, com concentração da produção e do comércio internacional em países que frequentemente vivenciam instabilidades geopolíticas. Dessa forma, ao se analisar a evolução da indústria mundial do petróleo, notam-se períodos de oferta menor que a demanda, alternando-se com períodos de sobreoferta. Essa natureza inerentemente cíclica e volátil da indústria é, em grande parte, decorrente da necessidade de vultosos investimentos e do longo prazo de maturação para a maioria dos grandes projetos estruturantes (EPE, 2019).

## II. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

O sistema global de energia é dominado por combustíveis fósseis, constituindo, em 2017, mais de 85% do consumo total de energia primária<sup>2</sup> (BP, 2018).

Um dos maiores desafios para países consumidores, de acordo com a geopolítica da energia, é o acesso e o controle de recursos energéticos e corredores de energia<sup>3</sup>. Esse desafio está integrado à segurança do abastecimento dos Estados e tem implicações nas relações entre os diversos atores do cenário energético mundial.

Os recursos energéticos mudam a realidade geopolítica e podem ser uma fonte de poder, controle ou influência na mesma medida em que podem representar uma vulnerabilidade substancial. Além disso, recursos energéticos podem, por um lado, promover crescimento econômico e prosperidade ou, por outro lado, provocar instabilidade econômica e declínio.

Em termos estratégicos, países importadores de combustíveis fósseis estão vulneráveis a riscos de interrupção do fornecimento e volatilidade de preços causada por instabilidade política, embargos econômicos ou comerciais, ataques terroristas ou conflitos armados que podem afetar países exportadores de hidrocarbonetos, tendo,

por conseguinte, menos liberdade para determinar suas próprias prioridades e objetivos estratégicos. Em termos econômicos, um alto grau de dependência de importações também gera impactos negativos na balança comercial e aumenta os riscos, uma vez que as economias desses países se tornam expostas às flutuações cambiais e às volatilidades dos preços, o que pode resultar em dificuldades na balança de pagamentos (não somente para importadores, mas, também, para países produtores, em especial, aqueles cuja economia está diretamente atrelada à produção de recursos naturais).

Diante de uma reduzida flexibilidade no curto prazo, tanto no lado da demanda quanto do lado do suprimento, a instabilidade política ou a insegurança que afeta as regiões produtoras de petróleo e as suas rotas de transporte podem causar grandes flutuações nos preços (Pascual, 2015).

Tradicionalmente, os aumentos dos preços têm sido acompanhados por fatores geopolíticos associados à instabilidade no suprimento em

<sup>1</sup> Não se configura, atualmente, o caso da indústria do petróleo e gás natural não convencional nos Estados Unidos.

<sup>2</sup> As principais fontes de energia em 2017 foram o petróleo (34,2%), carvão (27,6%), gás natural (23,4%), hidroeletricidade (6,8%), nuclear (4,4%) e outras renováveis (não-hidrelétricas) (3,6%) (BP, 2018).

<sup>3</sup> Não são apenas os recursos energéticos que têm sido objeto de competição geopolítica, mas também suas rotas de trânsito. Na década de 1990, por

exemplo, os Estados Unidos promoveram o oleoduto Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC) para reforçar sua influência estratégica na região em contrapartida à influência russa e iraniana. Por mais de uma década, a União Europeia apoiou a construção do Corredor de Gás Sul para reduzir sua dependência do gás natural russo, enquanto a Rússia e alguns países europeus promoveram corredores de gás alternativos (como o gasoduto *Nord Stream 2*), para contornar as rotas de trânsito existentes (IRENA, 2019).

países produtores<sup>4</sup>. No entanto, um declínio nos preços do petróleo, especialmente a partir de 2014, revelou fatores igualmente importantes na volatilidade dos preços, tendo consequências negativas para os países produtores, cujas economias dependem do comércio de seus recursos energéticos (Campos e Fernandes, 2017).

Cabe ressaltar, todavia, que a indústria do petróleo acompanhou o movimento de globalização, com a demanda se expandindo mundialmente. Países anteriormente pouco significativos em termos de consumo de petróleo se tornaram relevantes<sup>5</sup>, aumentando a participação do comércio internacional de petróleo vis-à-vis sua produção. Entretanto, é pertinente entender as mudanças na demanda mundial de energia antes de analisar especificamente a demanda por petróleo.

Tendências recentes e previsões de longo prazo indicam uma desaceleração gradual no crescimento da demanda mundial de energia, impulsionada pelo aumento da eficiência energética e da inovação tecnológica (BP 2019; IEA, 2019). O progresso da eletrificação tem propiciado um crescimento mais rápido na demanda de eletricidade do que os combustíveis fósseis. A absorção acelerada de veículos elétricos, a redução dos custos das fontes renováveis, a redução de emissões nas indústrias aeronáutica e marítima<sup>6</sup>, e o uso mais eficiente dos plásticos podem reduzir o crescimento da demanda por petróleo (BP 2019; IEA, 2018).

O consumo mundial de energia primária cresceu 2,2% em 2017, liderado pelo gás natural e renováveis. Todas as fontes, exceto carvão e hidroeletricidade, cresceram a taxas acima da média registrada no ano anterior. O gás natural forneceu o maior incremento no consumo de energia, em 83 milhões de toneladas equivalente de petróleo (MM tep), seguido pela energia renovável (69 MM tep) e pelo petróleo (65 MM tep). O petróleo continua sendo o combustível dominante na África, Europa e nas Américas, enquanto o gás natural

prevalece na Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e no Oriente Médio, respondendo por mais da metade da composição energética em ambas as regiões. O carvão é o combustível dominante na região da Ásia-Pacífico, área que responde por três quartos do seu consumo global (74,5%) (BP, 2018).

Verifica-se que o centro de gravidade da demanda de energia está mudando, com a classe média em expansão na Ásia respondendo por grande parte do crescimento econômico e pelo consumo de energia mundial nos próximos 20 anos (BP, 2019).

O padrão de oferta de energia também está se alterando, com a revolução dos recursos não-convencionais, que ampliaram as possibilidades de produção, elevando os Estados Unidos à posição de maior produtor mundial de petróleo e gás natural em 2018<sup>7</sup>, além do acelerado crescimento da oferta de gás natural liquefeito (GNL).

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2019) estima que 70% do incremento na produção mundial de petróleo, e cerca de 75% da expansão do comércio de GNL, nos próximos cinco anos sejam provenientes dos Estados Unidos. Com isso, os fluxos internacionais de petróleo e gás natural devem apresentar novas mudanças, o que proporciona uma maior diversidade de oferta para o mercado internacional (IEA, 2019).

Os países do Oriente Médio, por sua vez, detêm 48% das reservas provadas de petróleo no mundo, bem como 41% das reservas totais de gás natural (BP, 2018). Por conseguinte, essa região é vital para a segurança energética mundial. No entanto, com o desenvolvimento de novas fronteiras produtivas (como o pré-sal brasileiro<sup>8</sup>) e o aprimoramento de tecnologias de produção (como fraturamento hidráulico e perfuração horizontal), o Oriente Médio poderá ter sua relevância reduzida. Em suma, quanto mais fontes alternativas de suprimento forem desenvolvidas em todo o mundo, menor será a

<sup>4</sup> As interrupções mais significativas no fornecimento de petróleo estão associadas a eventos marcantes como o 1º choque do petróleo em 1973 (embargo do petróleo estabelecido por membros da Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPAEP) em reação ao apoio dos Estados Unidos e de outros países ocidentais à Israel na Guerra de Yom Kippur), o 2º choque do petróleo em 1979 (em consequência da Revolução Iraniana), a Guerra Irã-Iraque entre 1980 e 1988, a Guerra do Golfo entre 1990 e 1991, e a Guerra do Iraque entre 2003 e 2011. Recentemente, as sanções dos Estados Unidos à Venezuela e ao Irã, os acordos de corte de produção executados pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep), os gargalos de infraestrutura de oleodutos no Canadá, assim como protestos e instabilidade de segurança em países produtores como Iraque, Argélia, Sudão e Líbia, contribuem para a redução na oferta de hidrocarbonetos no mercado mundial.

<sup>5</sup> Além dos tradicionais grandes consumidores de petróleo, como Estados Unidos, China e Japão, outras nações vêm apresentando crescimento na demanda, como, por exemplo, a Índia, Rússia e a Arábia Saudita (BP, 2018).

<sup>6</sup> A mudança nos limites de enxofre nos combustíveis marítimos a partir de 2020 (IMO 2020) implicará em amplas repercussões para as indústrias globais de refino e transporte, bem como para suprimento de petróleo, fluxos de comércio e preços.

<sup>7</sup> A produção de petróleo dos Estados Unidos foi de 10,96 milhões b/d em 2018, 17% maior em relação ao ano anterior (EIA, 2019). O crescimento está sendo impulsionado principalmente pelo desenvolvimento de recursos em reservatórios de baixa permeabilidade (*tight oil*), principalmente na Bacia do Permian, no oeste do Texas e no leste do Novo México. Para os próximos anos, projeta-se um crescimento ainda mais forte da produção de petróleo na região, com produção prevista em 13 milhões b/d em 2020 (EIA, 2019; IEA, 2019).

<sup>8</sup> O desenvolvimento do Pré-sal demonstra como o aprimoramento tecnológico propiciou a ampliação da oferta de petróleo, situando o Brasil em posição de destaque no cenário mundial.

relevância do Oriente Médio em termos de perspectivas, desafios e oportunidades de segurança energética.

Grande parte do crescimento esperado na economia global é impulsionado por economias emergentes, como a China, Índia e a Indonésia. O acesso à energia é fundamental para sustentar o crescimento econômico dessas nações. Sendo responsável pela metade do consumo mundial de gás natural, 60% do aumento de energia fotovoltaica e eólica, mais de 80% da expansão da demanda de petróleo, além do expressivo crescimento nos setores de carvão e energia nuclear (IEA, 2018), a Ásia se configura como uma região de grande inflexão de demanda e oferta. Uma mudança profunda no seu poderá acarretar consequências para toda a dinâmica de produção e comercialização dos combustíveis e tecnologias, bem como o investimento na área da energia.

Na Ásia, o desenvolvimento de infraestrutura relacionada a energia, liderado pela China e Coreia do Sul, tem moldado as relações políticas regionais, afetando o cenário geopolítico e estratégico mundial. Um exemplo de projeto de infraestrutura energética transnacional sendo utilizado para promover objetivos geopolíticos é o *Belt and Road Initiative* da China, que visa conectar Ásia, Europa e África através de rotas de comércio e de infraestrutura. Em particular, a China vem construindo uma rede de infraestrutura de transporte em toda a Eurásia com o objetivo de aumentar a sua segurança no suprimento de energia, bem como estimular a exportação do excedente da sua produção doméstica (Oh, 2018).

Nesse contexto, a China aumentou a diversificação de seus parceiros comerciais na importação de petróleo nos últimos anos, especialmente de países não integrantes da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep). Apesar da introdução de tecnologias cada vez mais eficientes e do estímulo ao uso de fontes substitutas, o país segue com uma perspectiva de elevação da demanda por derivados de petróleo no longo prazo. Além disso, o aumento do poder político e econômico da China na região e o

fortalecimento de seus laços econômicos e energéticos com a Rússia e outros países provavelmente enfraquecerão a posição dos Estados Unidos na Ásia<sup>9</sup>.

Cabe ressaltar que, com uma sociedade cada vez mais dependente de recursos energéticos, os países definem as suas estratégias e políticas visando a garantia da segurança energética, por meio do desenvolvimento de infraestrutura que permita a produção, o transporte e a distribuição de energia por todos os setores da sociedade. No entanto, a maioria dos países não possui recursos energéticos endógenos suficientes para suprir as suas necessidades internas, recorrendo à importação.

Considerada parte integrante da estratégia política, econômica e tecnológica de um Estado, a busca pela segurança no abastecimento energético, associada ao desenvolvimento nos mercados de energia, molda o comportamento dos países e as implicações para o sistema internacional e as relações regionais. A dependência energética constitui um problema potencial quando associada à vulnerabilidade. Em contrapartida, a diversificação de fontes de energia é uma estratégia central para reduzir o risco.

Uma forma de gerenciamento dos recursos naturais como “arma geopolítica” ocorre através de embargos de suprimentos, como ocorre atualmente na Venezuela<sup>10</sup>. Algumas sanções não limitam as exportações atuais de um país, porque isso aumentaria os preços globais e infligiria prejuízos iguais aos países consumidores. Em vez disso, as sanções visam impedir o desenvolvimento da futura capacidade de produção.

Apesar das diversas pressões políticas, a Europa depende da Rússia<sup>11</sup> como fonte de abastecimento de petróleo e, principalmente, gás natural, gerando expressivas despesas com a importação desses energéticos. A Europa possui outras opções para diversificação de seu suprimento energético, todavia o gás natural russo ainda

por exemplo), resultando em elevação do nível de preços internacionais (EPE, 2019).

<sup>9</sup> A Rússia é um dos maiores produtores de petróleo do mundo, respondendo por 12,2% da produção global em 2017 (11,3 milhões b/dia, incluindo líquidos de gás natural), e detém a sexta maior reserva (106 bilhões de barris – 6,3% do total mundial). Em relação ao gás natural, a Rússia possui a maior reserva provada no mundo (32,3 trilhões de m<sup>3</sup>) sendo responsável por 17,3% da produção mundial em 2017 (1,74 milhão m<sup>3</sup>/dia – 8,2% maior em relação à 2016), atrás apenas dos Estados Unidos (BP, 2018). Em termos de demanda energética, a Rússia é o quarto maior consumidor de energia, depois de China, Estados Unidos e Índia (EPE, 2019).

<sup>9</sup> A China investiu no setor energético da Ásia Central por duas décadas, incluindo o desenvolvimento do oleoduto China-Cazaquistão e do gasoduto Ásia-China Central (gasoduto Turcomenistão-Uzbequistão-Cazaquistão-China, em operação desde 2009). Acordos sino-russos também foram estabelecidos para oleodutos transnacionais de petróleo e gás natural, quando as relações entre a Rússia e o Ocidente estavam em desacordo (devido à invasão russa da Geórgia em 2008 e à anexação da Criméia pela Rússia em 2014) e quando fatores externos inesperados (tais como a crise financeira global de 2008 e o colapso dos preços do petróleo) levaram a Rússia a necessitar do capital chinês (Oh, 2018).

<sup>10</sup> Os Estados Unidos vêm impondo sanções econômicas à Venezuela. Um eventual desabastecimento do mercado mundial de petróleo venezuelano poderia contribuir com a restrição da oferta (acentuada por políticas de controle da Opep e instabilidade nas produções líbias, iranianas e nigerianas,

apresenta preços competitivos quando comparado a outros países produtores (inclusive, em relação ao GNL dos Estados Unidos).

A economia e as políticas interna e externa da Rússia estão intimamente ligadas à indústria do petróleo e do gás natural. Nesse sentido, a influência geopolítica permanecerá como fator central para as perspectivas do país, principalmente em relação às receitas de exportação.

Além do papel na geopolítica do petróleo em termos de suprimento, a Rússia participa das discussões com a Opep para limitar a oferta de petróleo, aumentando as incertezas, inclusive, sobre o investimento futuro no país. Por outro lado, caso a cooperação saudita-russa se mantenha, novas metas de cortes menos restritivas que as atuais poderão ser estabelecidas, fortalecendo a posição da Rússia no Oriente Médio e contrabalançando a influência dos Estados Unidos na região (EPE, 2019).

A Rússia reconhece que a manutenção da estabilidade das relações com os seus parceiros tradicionais, bem como o fortalecimento das relações com novos mercados, é essencial para a política energética do país e para assegurar a segurança energética em escala mundial. Esse pressuposto encontra-se na construção e projeção de novas rotas de abastecimento para a Europa e no diálogo com blocos econômicos e organizações internacionais.

Um benefício da integração energética é aumentar a segurança de abastecimento da região, seja pela ampliação da confiabilidade sistêmica, seja pela diversificação de origem de suprimento ou fontes energéticas desde que associados a garantias de suprimento. Entre as principais diretrizes da estratégia de integração está a promoção de: segurança no abastecimento da demanda e fortalecimento da infraestrutura regional; a transferência de tecnologias e promoção da industrialização e do desenvolvimento do setor da energia; uso eficiente da energia; desenvolvimento de energias renováveis e alternativas; relação equilibrada entre produtores e consumidores de energia (EPE, 2018b).

Diversos países estão se empenhando para atualizar seus sistemas de energia buscando adequação aos requisitos de segurança, sustentabilidade e crescimento econômico (Bazilian *et al.*, 2017). A gradual mudança de posicionamento de grandes empresas petrolíferas mundiais em busca de diversificação de suas carteiras de

investimento, face a um novo cenário de penetração de energias alternativas e de maiores restrições à emissão de gases de efeito estufa, reforçam a necessidade de desenvolvimento de técnicas mais eficientes para a extração, desenvolvimento e transporte dos recursos. Essa extensão do modelo de negócios implica na estruturação de um portfólio integrado, incluindo ativos de tecnologias de hidrocarbonetos e de baixo carbono.

Uma estratégia de adaptação bem-sucedida requer a compreensão da natureza da transição energética, uma vez que decisões sobre a adaptação do modelo de negócios, assim como estratégias de investimento, estão condicionadas à rapidez com que a transição ocorrerá, bem como as tecnologias que prevalecerão e como será a combinação de energia no futuro. Uma vez que ainda não está claro qual a fonte energética, ou a tecnologia de conversão, será a determinante após um novo ciclo de transição energética, as companhias petrolíferas buscam uma combinação de tecnologias de baixo carbono, ao invés de investirem em uma única tecnologia específica (Fattouh *et al.*, 2018).

Como os combustíveis fósseis representam cerca de 65% das emissões globais de gases do efeito estufa, a atenção das políticas públicas tende a se concentrar em como mitigar as emissões destes energéticos e, conseqüentemente, como direcionar investimentos e inovação para soluções menos intensivas em carbono.

A transformação global de energia impulsionada por fontes renováveis terá implicações geopolíticas significativas, ao reformular as relações entre os Estados e promover mudanças estruturais nas economias e na sociedade moderna, construída sobre uma base de combustíveis fósseis. Nesse cenário, países e empresas trabalham com diretrizes para suas políticas, entre as quais se destaca a redução das emissões locais e globais, bem como a garantia do suprimento energético.

No entanto, o curso do processo de transição energética necessita de condições essenciais, tais como investimento estrangeiro (especialmente nos países em desenvolvimento), transferência de tecnologia<sup>12</sup>, equipamentos de produção, flexibilidade regulatória, política governamental proativa, além da aceitação (e adoção) por parte da sociedade, o que acabará por definir os padrões de consumo. Em relação ao ritmo do desenvolvimento e difusão

<sup>12</sup> A disponibilidade de recursos minerais ainda é relevante na questão da transição energética, mesmo em um processo de substituição de combustíveis fósseis por renováveis. No caso dos materiais componentes de equipamentos de geração e energia renováveis, em média 86% da produção de materiais que compõem tecnologias renováveis (grafite, cobalto, terras

raras e lítio, por exemplo) se concentram em poucos países (como China, Congo, Austrália e Chile) (BP, *apud* IBP, 2019), ainda que este registro se pautem em um contexto de poucos investimentos na expansão e na diversificação dessa oferta.

tecnológica, a transformação do setor de energia depende da disponibilidade de infraestrutura, o que normalmente demanda tempo e significativos investimentos para ser construída. Ademais, a difusão da inovação é um processo demorado, podendo decorrer um período de tempo para que seja absorvida por um mercado de massa. Tais requisitos podem obstaculizar a ampliação da participação de fontes renováveis na matriz energética mundial, assinalando a dependência no curto e médio prazo da geopolítica da energia, com a prevalência de fontes fósseis, em especial petróleo e gás natural.

Sendo a transição energética multidimensional, critérios econômicos e ambientais tornam a análise ainda mais complexa e incerta, exigindo realinhamento de estratégias. A articulação da política energética com a ambiental passou a nortear os processos de tomada de decisão de diferentes países, com vistas à redução de emissões decorrentes do consumo de combustíveis fósseis. À medida que a mudança climática se torna cada vez mais crítica e os recursos renováveis aumentam continuamente sua capacidade de atender às necessidades de energia da sociedade, a transição global para fontes sustentáveis de energia continuará a avançar. As energias renováveis

permitem que os países fortaleçam sua segurança energética e alcancem maior independência energética.

Os países que dependem da produção de petróleo e gás natural para as receitas do governo também são altamente vulneráveis a mudanças no cenário energético. O principal desafio é a capacidade de monetizar sua base de reservas de hidrocarbonetos e minerais, simultaneamente a uma estratégia de diversificação de suas economias no longo prazo. Durante a transição, o setor de petróleo e gás natural ainda desempenhará um relevante papel nessas economias, possibilitando a diversificação das receitas governamentais<sup>13</sup>.

Nesse contexto, os avanços na tecnologia, os combustíveis alternativos, as políticas ambientais e as contínuas mudanças globais na atividade econômica e de comportamento da sociedade podem alterar a demanda de energia no futuro, com implicações para os mercados mundiais de combustíveis fósseis e na dinâmica geopolítica.

---

<sup>13</sup> As energias renováveis podem complementar os recursos de hidrocarbonetos na matriz energética doméstica, mas não no orçamento governamental, especialmente de países exportadores, dada a magnitude dos retornos financeiros que a indústria petrolífera proporciona. Além disso, embora energia renovável esteja contida na estratégia de diversificação, pode não ser suficiente para atender, sozinha, às necessidades reais dessas economias, devido à intermitência na geração de energia a partir de recursos renováveis, bem como a criação de empregos e melhorias na distribuição da renda nacional (Fattouh *et al.*, 2018).

### III. O BRASIL NO CONTEXTO GEOPOLÍTICO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

O Brasil encontra-se em uma condição privilegiada em função da relevante participação de fontes renováveis em sua matriz energética<sup>14</sup>. A despeito do avanço das fontes renováveis, o País consolida-se também como um grande produtor de petróleo e gás natural.

A província petrolífera do Pré-sal manifesta um enorme potencial para a economia brasileira, dado o grande volume de produção esperado bem como a alta qualidade do óleo extraído dessa região. Tais características conferem ao Brasil um protagonismo mundial na exploração e produção de petróleo e gás natural em ambiente *offshore*. Atualmente, o pré-sal contribui com mais da metade da produção nacional de petróleo e gás natural. As projeções indicam um crescimento significativo da produção nacional de óleo cru na próxima década, evoluindo de 2,6 milhões b/d, atualmente, para 5,1 milhões b/d em 2027, a depender de avanços técnicos e regulatórios no cenário nacional. Como consequência, as exportações brasileiras de petróleo poderão alcançar, em 2027, um volume médio de 3,0 milhões b/d, posicionando potencialmente o

Brasil entre os cinco maiores exportadores de petróleo do mundo. Nesse cenário, o Brasil apresenta uma das maiores perspectivas de crescimento de produção entre os países não-membros da Opec, atrás apenas dos Estados Unidos. Ressalta-se ainda que o Brasil oferece maior estabilidade institucional vis-à-vis países do Oriente Médio e África, contribuindo para a interdependência e a segurança energética mundial.

Concomitantemente ao aumento da oferta de gás natural, promovido por aprimoramentos tecnológicos na extração e processamento<sup>15</sup>, há a oportunidade de estruturar projetos que promovam a expansão da indústria de gás natural e do aumento da participação desse combustível na matriz energética brasileira (EPE, 2018a). Em um panorama de transição energética, a importância do gás natural será fundamental, especialmente como combustível para usinas termelétricas, pois além de desempenhar um papel relevante de complementação para sazonalidades e intermitências no setor elétrico, poderá ter papel relevante como combustível de transição entre fontes mais poluentes e energias renováveis.

### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia continua sendo um desafio global, apesar do aumento nos tipos de fontes de energia disponíveis. Nos últimos anos, registrou-se, desencadeado por avanços tecnológicos e preocupações ambientais e climáticas, uma recuperação das fontes de energia de baixo carbono.

Em um cenário de transição energética, é importante que a demanda crescente por energia seja atendida de forma previsível e estável, valorizando o que cada fonte tem a oferecer, ao mesmo tempo em que se promove investimentos em tecnologias mais limpas e de maior eficiência.

A implantação acelerada de energias renováveis colocou em movimento uma transformação global de energia que terá profundas consequências geopolíticas. Assim como os combustíveis fósseis moldaram o mapa geopolítico ao longo dos últimos dois séculos, a transformação da energia pode alterar a distribuição global do poder,

as relações entre os Estados, o risco de conflito e os fatores sociais, econômicos e ambientais da instabilidade geopolítica. Os países que historicamente desfrutaram da influência geopolítica por disporem de reservas significativas e/ou oferta relevante de combustíveis fósseis possivelmente apresentarão, no médio a longo prazo, um declínio em seu alcance e influência global, a menos que possam reinventar sua economia para uma nova era da energia. Igualmente, espera-se que países que detenham os recursos necessários para a produção de tecnologias renováveis ganhem maior destaque no cenário internacional.

No caso brasileiro, a pluralidade dos recursos naturais e minerais existentes possibilita a diversificação da matriz energética nacional, promovendo maior segurança de abastecimento energético do País e a possibilidade de expansão do setor de energia baseada no menor custo à sociedade e com as menores emissões possíveis, em

<sup>14</sup> As fontes renováveis respondem atualmente por 43% da oferta interna de energia no Brasil, com potencial de alcançar uma participação de 48% em 2027 (EPE, 2018c). Destacam-se a energia hidráulica, a bioenergia (principalmente os derivados de cana-de-açúcar) e a energia eólica, sendo utilizadas principalmente na geração de eletricidade e no setor de transportes. Em termos de matriz elétrica, a participação das fontes renováveis é ainda mais significativa, sendo responsáveis por 85% da

capacidade instalada do parque gerador nacional, patamar que deve ser mantido no horizonte decenal (EPE, 2018c).

<sup>15</sup> A produção líquida de gás natural, disponível para o consumo, deve aumentar de 59 milhões de m<sup>3</sup>/d para 111 milhões de m<sup>3</sup>/d em 2027, sendo a maior parte dessa produção de gás natural oriunda de campos situados na província do Pré-sal (EPE, 2018a, 2018c).

consonância com a racionalidade econômica, estabilidade regulatória e com as boas práticas internacionais.

A energia, além de seus aspectos comerciais, econômicos e políticos, é um determinante altamente estratégico. O diagnóstico da maneira pela qual os requisitos internos de energia e de crescimento econômico orientarão as escolhas de política externa brasileira, bem como quais serão suas atribuições e responsabilidades na estruturação de instituições multilaterais dentro do contexto geopolítico serão vitais para definir arranjos regionais de segurança

energética capazes de mitigar riscos e criar incentivos compartilhados entre o Brasil e demais Estados.

Nessa lógica, ao se considerar as necessidades futuras de energia, e a maneira pela qual o Brasil poderá formular suas políticas públicas e internacionais para atendê-las, os preceitos de geopolítica energética deverão ser necessariamente contemplados.

## REFERÊNCIAS

- 1) BAZILIAN, M.; SOVACOO, B.; MOSS, T., (2017). *Rethinking Energy Statecraft: United States Foreign Policy and the Changing Geopolitics of Energy*. Global Policy Volume 8, Issue 3. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1758-5899.12461>>. Acesso em: 29 mar. 2019.
- 2) BP, (2018). *BP Statistical Review of World Energy 2018*. BP. Disponível em: <<https://www.bp.com>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- 3) BP, (2019). *BP Energy Outlook: 2019 edition*. BP. Disponível em: <<https://www.bp.com>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- 4) CAMPOS, A.; FERNANDES, C., (2017). *The Geopolitics of Energy*. In: FERNANDES, C.; RODRIGUES, T. (Orgs.). *Geopolitics of Energy and Energy Security*. Lisboa: Instituto da Defesa Nacional, Idn Cadernos nº 24, pp. 23-40.
- 5) EIA. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, (2019). *U.S. crude oil production grew 17% in 2018, surpassing the previous record in 1970*. Today in Energy, EIA. Disponível em: <<https://www.eia.gov>>. Acesso em 24 abr. 2019.
- 6) EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2018a). *Estudos de Longo Prazo - Desafios do Pré-Sal*. EPE. Documento de Apoio ao PNE 2050. Disponível em: <<http://http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 27 mar. 2019.
- 7) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018b). *Panorama e Perspectivas sobre Integração Energética Regional*. EPE. Documento de Apoio ao PNE 2050. Disponível em: <<http://http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 27 mar. 2019.
- 8) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018c). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2027*. EPE. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 27 mar. 2019.
- 9) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019). *Boletim de Conjuntura da Indústria do Petróleo*. Empresa de Pesquisa Energética, semestral. Disponível em: <<http://epe.gov.br>>.
- 10) FATTOUH, B.; POUDINEH, R.; WEST, R., (2018). *The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy for oil companies and oil-exporting countries?* Oxford Institute for Energy Studies, OIES Paper: MEP 19. Disponível em: <<https://www.oxfordenergy.org>>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 11) IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, (2018). *World Energy Outlook 2018*. OECD/IEA. Disponível em: <<http://www.iea.org>>. Acesso em 27. Mar. 2019.
- 12) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019). *Oil 2019 - Analysis & Forecast to 2024*. IEA. Disponível em: <<https://www.iea.org/oil2019/>>. Acesso em 28 mar. 2019.
- 13) IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, (2019). *A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation*. Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation, IRENA. Disponível em: <<https://www.irena.org>>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- 14) OH, M., (2018). *How energy infrastructure is shaping geopolitics in East Asia*. World Economic Forum. Disponível em: <<https://www.weforum.org>>. Acesso em: 28 mar. 2019.
- 15) PASCUAL, C., (2015). *The New Geopolitics of Energy*. Columbia University. Center on Global Energy Policy. Disponível em: <<http://energypolicy.columbia.edu>>. Acesso em: 21 mar. 2019.



Empresa de Pesquisa Energética

# EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ARTIGO EXTERNO – 07 DE JUNHO DE 2019

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis & Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

URL: <http://www.epe.gov.br>

Escritório Central: Av. Rio Branco, nº 1 - 11º Andar - CEP 20.090-003 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo apresentar a importância da eficiência energética para o desenvolvimento sustentável dos países no âmbito do evento “Ciclo de Debates para Transição Energética”, organizado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O uso de energia representa mais de 70% das emissões globais (WRI, 2019), o que evidencia a relação entre consumo energético e emissões. Quanto maior o conteúdo de carbono não renovável no combustível, maior a emissão por unidade de energia. A eficiência energética, por sua vez, pode ser entendida como um mecanismo de ajustamento às restrições impostas pelos recursos naturais e pelo meio ambiente ao crescimento da demanda de energia. A partir do primeiro choque do petróleo, a questão da eficiência dos usos da energia ganhou destaque e continuou a se desenvolver ao longo dos anos. Atualmente, a eficiência energética é fundamental para o atendimento da demanda de energia, segurança energética e o combate às mudanças climáticas. A evolução tecnológica e os costumes da sociedade são parte relevante da utilização mais eficiente das fontes de energia. Neste sentido, o artigo apresenta eficiência energética nos principais setores da economia no contexto da transição energética mundial.

## EQUIPE TÉCNICA

### Coordenação Geral

Thiago V. Barral Ferreira  
José Mauro Ferreira Coelho

### Coordenação Executiva

Jeferson Borghetti Soares  
Marcos Frederico F. de Souza

### Coordenação Técnica

Marcelo C. B. Cavalcanti  
Patrícia Stelling

### Equipe Técnica

Bruno R. L. Stukart  
Fernanda Marques P. Andreza  
Filipe de Pádua F. Silva  
Natalia Goncalves de Moraes  
Patrícia Messer Rosenblum  
Thiago Pastorelli Rodrigues

## I. SETOR INDUSTRIAL

O setor industrial é responsável por 32% do consumo energético mundial (IEA, 2018d). Os sistemas motrizes são os principais consumidores de energia elétrica, enquanto a energia térmica, incluindo gás natural, óleo combustível e coque de petróleo, é consumida majoritariamente em fornos e caldeiras. Grande parte dessa energia é perdida, e apesar das perdas serem intrínsecas aos processos termodinâmicos, muitas poderiam ser evitadas.

Para isso, conceitos de otimização de energia devem ser considerados desde a fase de projeto até a operação, com a escolha das melhores tecnologias disponíveis, disponibilidade de infraestrutura logística adequada, colaboração com as organizações do entorno, *layout* que permita integração energética dos fluxos de calor e o correto dimensionamento dos equipamentos. Entretanto, há outras prioridades na rotina da indústria (como produção,

segurança e qualidade), os processos mudam e os equipamentos começam a falhar, gerando perdas de energia.

A gestão de energia é reconhecida internacionalmente por aumentar a eficiência energética das empresas de forma contínua. A partir da revisão energética, são identificadas oportunidades de eficiência implementadas e monitoradas através de indicadores de desempenho energético. O envolvimento da alta direção, de diferentes áreas e níveis de funcionários contribui para que os ganhos sejam mantidos e ampliados.

Há políticas públicas para a realização de auditorias energéticas periódicas ou estabelecimento de gestão de energia na indústria, de forma mandatária ou incentivada, em diversas regiões como a União Europeia e Estados Unidos. Também há políticas públicas voltadas para redução de emissões de GEE, como precificação de carbono

(taxação e comércio de emissões – *cap and trade*), e a eficiência é uma das medidas de menor custo para a redução de emissões na indústria (McKinsey & Company, 2007).

O potencial de eficiência está em sistemas de cogeração, vapor, bombas, ventilação, compressão de ar, integração de processos e nos processos produtivos. Algumas medidas de eficiência envolvem simples mudanças operacionais que podem gerar grandes impactos com baixo ou nenhum custo associado, como o controle de vazamentos de ar comprimido. Outras medidas podem gerar retorno financeiro, pois a redução do consumo compensa o investimento inicial – a troca de equipamentos antigos e mal dimensionados podem ter rápido tempo de retorno.

A indústria é heterogênea, com segmentos com processos de produção distintos e particularidades em cada fábrica. Portanto, a aplicabilidade de uma medida de eficiência deve ser avaliada para cada caso.

A digitalização é uma tendência no setor industrial, e permite alcançar um patamar mais elevado de eficiência energética. Além de reduzir os gastos com energia, é possível reduzir o uso de matéria prima, aumentar a produtividade, a qualidade dos produtos e a segurança, facilitar a customização dos produtos, melhorar a tomada de decisão e gerar mudanças na dinâmica operacional da organização com maior integração entre as áreas.

A indústria 4.0 engloba diversas opções tecnológicas que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico. Sensores acoplados a

equipamentos geram dados, que podem ser transmitidos em tempo real para uma rede *wireless* através da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT). Uma grande quantidade de dados (*Big Data*) sobre o desempenho dos equipamentos, como temperatura, vibração e velocidade, pode ser armazenada e analisada em um sistema de *Business Intelligence* (BI) para identificar anomalias e prever falhas. Com estas informações, o gestor pode identificar falhas operacionais, solicitar a manutenção preventiva e otimizar os parâmetros. A performance dos equipamentos também pode ser otimizada por *software* e a implementação pode ser feita a distância ou automaticamente, reduzindo o tempo de resposta.

As impressoras 3D podem reduzir as perdas de material e economizar energia na fabricação e no uso do produto, além de proporcionar redução de gargalos logísticos. Já as fábricas virtuais permitem replicar e simular as operações antes de iniciar ou alterar uma linha de produção, identificando fraquezas e otimizando processos.

Com a transição energética, os países deverão focar em indústrias de maior valor agregado, de alta tecnologia e com menores emissões. Entretanto, sem uma mudança no padrão de consumo, a indústria de base continuará sendo necessária para atender à demanda mundial. Atualmente, a indústria brasileira é energointensiva, baseada em produtos de baixo valor agregado para exportação – uma ilustração disso é que 30% do valor adicionado é responsável por 90% do consumo (EPE, 2017). Apesar desse histórico, EPE (2018a) indica que a indústria obterá 6% de eficiência com poucas alterações estruturais.

## II. SETOR DE TRANSPORTES

O consumo do setor de transportes (próximo a 1/3 da demanda energética global – IEA, 2018d) está relacionado ao uso dos combustíveis em um mundo ainda dependente do motor a combustão interna, mas que possui potenciais alternativas para a mobilidade em um contexto de transição energética. A forma e a magnitude do aproveitamento das diversas fontes energéticas no transporte de passageiros e de cargas são influenciadas por diversos fatores, como o PIB per capita, a disponibilidade e a ampliação da infraestrutura logística, a busca dos países por segurança energética, as regulações, as políticas ambientais locais e globais, os incentivos e suporte a financiamentos, o comportamento e preferências das pessoas e empresas, o nível de informações, o fenômeno da conectividade e as novas tecnologias de mobilidade.

Além disso, a atividade de transporte de cargas e de passageiros pode ser desempenhada por vários modos, que podem ser movidos por uma diversidade de fontes energéticas. Tal fato implica em uma multiplicidade de combinações entre as fontes energéticas disponíveis e os diversos modos de transporte, tanto para a movimentação de cargas quanto de pessoas. Deste modo, entende-se a importância de ponderar os preços, a eficiência e o grau de substitutibilidade entre as tecnologias e fontes energéticas em cada modo de transporte (OECD, 2014). Deve-se considerar também a disponibilidade de infraestrutura de abastecimento, as políticas públicas, como as de segurança de abastecimento e ambientais, e a competição entre os diferentes modos de transporte (IEA, 2018c).

A escolha entre os modos dependerá das preferências do usuário, de sua renda, dos preços relativos entre cada opção de transporte e da qualidade, da frequência e da disponibilidade do serviço de transporte. Ademais, aspectos como a geografia, o clima, as distâncias percorridas, o modo de organização das cidades e sua regulação, e a segurança pública também são relevantes. Cabe ressaltar, em muitos casos, a possibilidade de escolha de outros modos de transporte (como o ferroviário ou aquaviário) ou mesmo a integração entre eles.

A eficiência energética de cada tecnologia é fundamental para sua inserção competitiva em uma matriz de transportes. Historicamente houve muita influência de políticas de comando e controle para o modo rodoviário, com estabelecimento de metas ou de padrões de consumo para veículos. Destacam-se as possibilidades de evolução tecnológica de motores (rendimento energético), melhorias na aerodinâmica que reduzem o arrasto, avanços mecânicos em sistemas de transmissão de momento e/ou desenvolvimento de modernas tecnologias através da hibridificação e da eletrificação. (IEA, 2018a)

Além disso, ressaltam-se outras melhorias organizacionais, como o aumento do nível de ocupação, capazes de elevar o patamar de serviço de transporte para uma mesma quantidade de energia fornecida. Todavia, ganhos de eficiência no serviço de transporte podem ser obtidos não somente pela melhoria da eficiência do equipamento. O consumo energético também se relaciona com as condições de uso do veículo. Neste caso, o trânsito, as condições da via, o número de paradas, o escoamento dos usuários e a forma de condução influenciam diretamente a eficiência do transporte rodoviário, por exemplo. Portanto, políticas públicas voltadas à melhoria da pavimentação viária e à organização dos deslocamentos nas cidades podem ter impactos positivos sobre a eficiência energética do transporte coletivo. A implementação de corredores de ônibus e a priorização do transporte coletivo em vias preferenciais podem elevar a velocidade média, reduzir as frenagens e o tempo parado da condução. A disponibilização de informações sobre a localização dos coletivos e seu grau de lotação podem ajudar a elevar o número médio de passageiros transportados por ônibus, novamente aumentando a eficiência dessa alternativa de transporte. Além de mudanças estruturais e desenvolvimentos nas tecnologias de transportes, questões culturais também podem ter um impacto significativo sobre a eficiência energética. Melhorias nos meios de comunicação permitiram a difusão da conectividade móvel individual à internet (DELOITTE, 2017). Essa crescente conectividade está

promovendo uma verdadeira revolução no setor de transportes, em especial no uso do transporte individual.

Durante décadas, culturalmente, a posse de um veículo individual foi um símbolo de status e objeto de desejo de grande parte da população. Todavia, as novas gerações têm valorizado mais a prestação do serviço de transporte do que a posse do veículo. Essa preferência faz com que as novas gerações lancem mão de modernas tecnologias, como aplicativos que conectam provedores de transporte, ônibus, táxis ou veículos privados, com os demandantes de transporte. Isso tende a aumentar o número de passageiros por veículo e a promover a redução da distância percorrida por esses ofertantes de transporte à procura de demanda. Há espaço para um avanço significativo de sua eficiência operacional e, conseqüentemente, energética.

Diversas tecnologias, em diferentes estágios de desenvolvimento, podem vir a ser técnica e/ou economicamente viáveis nas próximas décadas, sobretudo se houver incentivos governamentais para sua implementação. O compartilhamento de ativos, a impressão 3D, motorização elétrica, veículos autônomos, *drones*, cidades e infraestrutura inteligentes, todos podem tornar o sistema muito mais eficiente, com um relevante impacto sobre a demanda energética futura (TREADWELL, 2017). No entanto, a eficiência energética do setor não se limita ao somatório dos ganhos de cada tecnologia, sendo necessário destacar a eficiência sistêmica. As condições de infraestrutura e a distribuição entre os modos de transporte tem um impacto significativo sobre a eficiência sistêmica do setor (IEA, 2017). A substituição por modos de transporte menos energointensivos pode reduzir significativamente a demanda por energia. A depender dos volumes e distâncias envolvidos em atividades rodoviárias, outros modos (ferroviário e aquaviário) podem ser economicamente viáveis e auxiliar nos ganhos de eficiência sistêmica (IEA, 2019).

A matriz de transportes brasileira é dominada pelo modo rodoviário, com aproximadamente 60% e 90% das atividades de cargas e de passageiros, respectivamente, sendo atendidos por esse modo mais energointensivo (EPE, 2012; EPL, 2019). Essa estrutura apresenta reflexos na matriz energética nacional, onde o diesel representa cerca de 20% do consumo final (EPE, 2019) e possui perspectiva de importação líquida para os próximos anos (EPE, 2018a). Esta realidade pode ser agravada se a demanda de transporte de cargas não puder dispor da ampliação da malha ferroviária, sendo atendida sobremaneira por meio de caminhões, aumentando a demanda de diesel em 11 bilhões de litros até 2030 (STUKART *et al*, 2018).

### III. SETOR DE EDIFICAÇÕES

O setor de edificações – que inclui residências, comércios e prédios públicos – deve ampliar a demanda global de energia e as emissões, especialmente associadas às mudanças climáticas (IEA, 2018b). Contudo, os potenciais de eficiência em edificações – que se referem à redução do consumo de energia, mantidos os níveis de conforto e de produtividade dos seus usuários – são requisitos que estão progredindo continuamente. Quando se trata, por exemplo, de conforto térmico em edificações, cabe destacar que medidas simples, como ajustar corretamente a temperatura para cada ambiente é um dos principais desafios para garantir conforto com redução de energia.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2018b), para um cenário de transição energética mundial, as edificações em 2040 poderiam ser, em média, aproximadamente 40% mais eficientes do que os níveis atuais. O aquecimento ambiental é um exemplo de serviço que oferece mais de um quarto da economia potencial de energia. Por sua vez, a eficiência do aquecimento de água também pode melhorar em cerca de 40% e os avanços em resfriamento podem fazer com que a eficiência de equipamentos como o ar condicionado duplique (IEA, 2018b). Neste contexto, a depender da sua disponibilidade, da expansão da malha de distribuição e da competitividade, o gás natural pode ampliar sua participação nos serviços de aquecimento, resfriamento ambiental e aquecimento de água.

O mais intuitivo elemento que pode contribuir para ações de eficiência energética em edificações é a introdução de equipamentos mais eficientes, frequentemente estimulados por políticas de comando e controle ou regulação. Nesse contexto, revisões periódicas de níveis mínimos de eficiência energética passam a ser um ponto nevrálgico.

Adicionalmente, a composição e o design da edificação, ou seja, a estrutura em que esses equipamentos estão inseridos pode influenciar na percepção de conforto dos usuários. Assim, a envoltória das edificações, com sombreamento e ventilação adequada, bem como o isolamento térmico correspondente, são elementos que podem manter ou aumentar a percepção de conforto com redução de consumo de energia. Tais elementos devem ser estabelecidos em normas técnicas e códigos de obras que permitam extrair o potencial de eficiência energética adequado a cada região bioclimática. Além disso, a implementação de etiquetas obrigatórias de edificações, que permitam a comparação do desempenho energético, podem contribuir para a economia de energia do setor.

A interação entre disponibilidade de energia, equipamentos e envoltória, a fim de garantir conforto aos usuários com efetiva redução de consumo, deve ser objeto de projeção, medição e verificação. A possibilidade de geração e análise de dados energéticos em tempo real permite que usuários e administradores identifiquem onde e quando a manutenção é necessária, quando os investimentos não estão funcionando conforme o esperado ou onde a economia de energia pode ser alcançada. Os edifícios inteligentes, com sistemas de energia mais conectados, eficientes, confiáveis e sustentáveis, têm um grande potencial em contribuir com a eficiência energética do setor de edificações.

No Brasil, o principal desafio do setor de edificações é atender ao aumento da demanda por condicionamento de ar. Após períodos de baixo crescimento econômico, que caracterizaram as décadas de 1980 e parte da década de 1990, a estabilidade da economia e a elevação da renda criaram condições para suprir parte de uma demanda reprimida por conforto ambiental pelas famílias. De acordo com EPE (2018b), estima-se que a demanda por esse serviço energético continue aumentando, o que pode gerar possíveis impactos e oportunidades em todos os elos da cadeia energética nas próximas décadas.

## IV. SETOR ENERGÉTICO

Os processos de extração e os centros de transformação desse setor são energointensivos, em particular, na indústria de petróleo e gás natural.

No segmento de exploração e produção (E&P), uma grande quantidade de energia é necessária para extrair petróleo e gás natural das jazidas. A intensidade energética nesse segmento tem aumentado nas últimas décadas apesar dos investimentos em eficiência. Por exemplo, observou-se um crescimento de mais de 30% na intensidade energética de países da OCDE desde 1980 (IPIECA, 2013).

Esse fenômeno pode ser explicado por dois motivos. Primeiro, o declínio natural de produção em campos maduros exige cada vez mais gastos energéticos para a manutenção dos níveis de produção, em função principalmente da implementação de técnicas de recuperação avançada, como a injeção de água, gás natural ou CO<sub>2</sub>. Segundo, como recursos energéticos fósseis são exauríveis, a depleção de campos tende a deslocar a extração marginal de hidrocarbonetos para ambientes de produção cada vez mais complexos, como águas ultraprofundas, óleos extrapesados e recursos não convencionais, que geralmente demandam um maior consumo energético para a mesma quantidade de energia produzida.

Por sua vez, o setor de refino possui a maior intensidade energética entre as atividades da indústria do petróleo e gás, sendo responsável

por cerca de 50% de toda a energia consumida nesta indústria (IPIECA, 2013).

Além disso, as especificações de combustíveis cada vez mais restritivas têm exigido maiores gastos energéticos nos processos de refino de petróleo. Dessa forma, o custo de energia representa uma parcela significativa das despesas operacionais do segmento de refino e, como consequência, a eficiência energética tem se tornado um dos principais indicadores e métricas de desempenho de refinarias ao redor do mundo (PAREKH E SINGH, 2015). Como resultado, a intensidade energética do refino de petróleo em países da OCDE apresentou uma redução de 13% desde 1980 (IPIECA, 2013).

De forma geral, a eficiência energética na indústria de petróleo e gás natural pode ser aprimorada a partir de sistemas de gerenciamento de energia, da integração e otimização de processos, e de investimentos em tecnologias e equipamentos mais eficientes. Essas estratégias visam um melhor aproveitamento das cargas térmicas das unidades de processo e, por conseguinte, uma redução do consumo de energia dessa indústria.

Ademais, melhorias na eficiência energética no refino de petróleo podem ser alcançadas, inclusive, a partir do aumento do fator de utilização e da complexidade das refinarias. A otimização energética de uma refinaria complexa pode resultar em uma redução de 10% a 15% no consumo de energia (LIMA E SCHAEFFER, 2011).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mundo tem um desafio dual pela frente: garantir a qualidade de vida da população, que prescinde de um nível adequado de energia, e ao mesmo tempo reduzir as emissões, preservando o meio ambiente. Nesse sentido, a eficiência energética é fundamental para o atendimento da demanda de energia, da segurança energética e do combate às mudanças climáticas. A eficiência dos setores industrial, de edificações, de transportes e energético têm evoluído, porém, avanços adicionais são imprescindíveis.

Existem barreiras a uma maior difusão de novas tecnologias, além de implementação de ferramentas e métodos voltados para a economia da energia. Entre eles, podemos citar a competição com fontes energéticas tradicionais, o alto custo dos investimentos iniciais, especialmente em infraestrutura, e a dificuldade de conseguir financiamento. Além disso, regulações, instituições e hábitos podem proporcionar possibilidades de entrada diferenciadas em cada país ou região.

Apesar das barreiras, a eficiência tem espaço para evoluir. A indústria 4.0 combina o uso de informações e tecnologia, sobretudo de conectividade, para promover uma melhoria no desempenho do setor. Tecnologias semelhantes, combinadas com mudanças culturais e uma maior disponibilidade de infraestrutura, podem ser utilizadas para promover uma revolução na mobilidade e garantir ganhos sistêmicos no setor de transportes. Prédios inteligentes e envoltórias adequadas também podem garantir a redução do consumo de energia mantendo o nível de conforto nas edificações. Tecnologias e equipamentos mais eficientes, por sua vez, podem promover um melhor aproveitamento do setor energético, em particular na indústria de óleo e gás.

No contexto da transição energética, todos os desenvolvimentos no campo da eficiência podem ter um impacto significativo na economia. Esse impacto não necessariamente irá confrontar a indústria petrolífera mundial, mas conduzi-la a um novo paradigma, com menor geração de externalidades negativas, que atenda às necessidades energéticas das gerações futuras.

## REFERÊNCIAS

- 1) DELOITTE, (2017). Global mobile consumer trends, 2nd edition. Disponível em <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-global-mobile-consumer-survey-second-edition.pdf>.
- 2) EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2012). *Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte: 1970-2010*. NOTA TÉCNICA SDB-Abast Nº 1/2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>.
- 3) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2017). *Monitorando o Progresso da Eficiência Energética no Brasil – Indicadores e Análises Setoriais*. NOTA TÉCNICA DEA 025/2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>.
- 4) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018a). *Plano decenal de Expansão de Energia (PDE 2027)*. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>.
- 5) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018b). *Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética*. Nota Técnica EPE 030/2018. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>.
- 6) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019). *Balço Energético Nacional: ano Base 2018*. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>.
- 7) EPL. EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A., (2019). *Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015*. Disponível em: [www.epl.gov.br/](http://www.epl.gov.br/).
- 8) IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, (2017). *The Future of Trucks - Implications for Energy and the Environment*. Disponível em: <https://webstore.iea.org/the-future-of-trucks>.
- 9) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018a). *Energy Technology Perspectives 2017*. Disponível em: <https://www.iea.org/etp/>.
- 10) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018b). *Tracking Clean Energy Progress - Buildings*. Disponível em: <https://www.iea.org/tcep/buildings/>.
- 11) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018c). *Tracking Clean Energy Progress - Transport*. Disponível em: <https://www.iea.org/tcep/transport/>.
- 12) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018d). *World Energy Balances 2018*. Disponível em: <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018>.

- 13) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019). *Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlooks to 2040*. Disponível em: <https://webstore.iea.org/market-report-series-energy-efficiency-2018>.
- 14) IPIECA, (2013). *Saving energy in the oil and gas industry*. Disponível em: <http://www.ipieca.org/resources/awareness-briefing/saving-energy-in-the-oil-and-gas-industry-2013/>.
- 15) LIMA, R. S. e SCHAEFFER, R., (2011). *The energy efficiency of crude oil refining in Brazil: A Brazilian refinery plant case*, Energy, 36, p. 3101-3112.
- 16) MCKINSEY & COMPANY, (2007). *The McKinsey Quarterly: A cost curve for greenhouse gas reduction*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-cost-curve-for-greenhouse-gas-reduction>
- 17) OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, (2014). *Greening Household Behaviour*. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/environment/greening-household-behaviour/household-behaviour-and-transport-choices\\_9789264214651-8-en](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/greening-household-behaviour/household-behaviour-and-transport-choices_9789264214651-8-en).
- 18) PETROBRAS, (2015). *Programa que reduziu queima de gás em 60% nos últimos seis anos é apresentado na WGC*. Fatos e Dados. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados-1/programa-que-reduziu-queima-de-gas-em-60-nos-ultimos-seis-anos-e-apresentado-na-wgc.htm>.
- 19) PAREKH, S. e SINGH, S., (2015). *Towards an Energy Efficient Oil & Gas Sector*, Brief for 2015 Global Sustainable Development Report (GSDR), The Energy & Resources Institute (TERI). Disponível em: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/625468-Parekh\\_Towards%20an%20Energy%20Efficient%20Oil%20&%20Gas%20Sector.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/625468-Parekh_Towards%20an%20Energy%20Efficient%20Oil%20&%20Gas%20Sector.pdf).
- 20) PINTO Jr., H., ALMEIDA, E., BOMTEMPO, J., IOOTY, M. e BICALHO, R. (2016). *Economia da Energia*. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2016.
- 21) STUKART, B., PACHECO, C., CAVALCANTI, M., SOUZA, M. e STELLING, P. (2018). *Novos Projetos Ferroviários e seus Impactos sobre a Demanda Energética Nacional*. In: Congresso Rio Oil & Gas, 2018. Rio de Janeiro, Riocentro, 2018. Artigo IBP1654\_18.
- 22) TREADWELL, J. (2017). *Disruptive Trends in Transport – Smart Cities, Citizens and Intelligent Connections*. In: 8th World Bank – Korea Transport Institute Joint Workshop. Washington DC, World Bank, 2017. Disponível em: <http://pubdocs.worldbank.org/en/986981501515858559/WB-Jane-Treadwell-Disruptive-Trends-in-Transport.pdf>.



Empresa de Pesquisa Energética

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

RIO DE JANEIRO, 19 DE JUNHO DE 2019

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Superintendência de Gás Natural e Biocombustíveis

URL: <http://www.epe.gov.br> | E-mail: [biocombustiveis@epe.gov.br](mailto:biocombustiveis@epe.gov.br)

Escritório Central: Av. Rio Branco, nº 1 - 11º Andar - CEP 20.090-003 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo discutir as mudanças climáticas como elemento fundamental no processo de transição energética, no âmbito do evento organizado pelo IBP e pela EPE “Ciclo de Debates sobre Transição Energética”. Neste artigo, discute-se o conceito de mudanças climáticas, descreve-se a evolução dos acordos internacionais sobre o tema, com destaque ao Protocolo de Quioto e ao Acordo de Paris. Em seguida, apontam-se alguns dos desafios que podem, se bem aproveitados, constituir-se em oportunidades para a indústria de O&G.

## Equipe Técnica

### Coordenação Geral

José Mauro Ferreira Coelho

### Coordenação Executiva

Giovani Vitória Machado

### Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

### Equipe Técnica

Angela Oliveira da Costa

Giovani Vitória Machado

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

## 1 CONCEITO

O clima é profundamente influenciado por alterações nas concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa (GEE), “caracterizados pelo fato de suas moléculas terem níveis de energia capazes de serem excitados por absorção de fótons de ondas eletromagnéticas da radiação térmica emitida pela Terra. Por outro lado, não absorvem fótons de ondas com frequências da luz solar” (ROSA, 1996). O vapor d’água e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera provocam um efeito estufa natural. Também contribuem para o efeito estufa antropogênico: metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e compostos halogenados, como os CFCs, HFCs e PFCs.

Os GEE impedem que parte do calor recebido escape para o espaço exterior, fazendo com que a temperatura média da superfície terrestre na era pré-industrial fosse de 15°C. Este controle da temperatura exercido de forma natural é conhecido como efeito estufa. Contudo, há evidências de que a intervenção humana nos processos biogeoquímicos vem

intensificando este processo natural, alterando o equilíbrio dos gases (IPCC, 2007). Quanto maior a concentração de GEE, maior a absorção de calor e o aquecimento global.

A Mudança do Clima constitui-se em uma alteração “direta ou indiretamente atribuída à atividade humana, alterando a composição da atmosfera mundial, e que seja adicional àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo” (UNFCCC, 1992).

As investigações científicas apontam que o principal agente da intensificação do efeito estufa é a queima de combustíveis fósseis, gerando emissões de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007). Agricultura e mudanças no uso do solo (desmatamento inclusive), algumas atividades industriais, deposição de resíduos em aterros, refrigeração e uso de solventes são atividades que também contribuem para tal. O metano (CH<sub>4</sub>) decorre principalmente das atividades biogênicas (pântanos e tundras, por exemplo) e humanas, como agricultura de arroz, criação de ruminantes e resíduos O manejo agrícola e de esterco animal, além da

combustão de fósseis é responsável pelas maiores emissões de N<sub>2</sub>O.

## 2 Histórico das Negociações do Clima

A relação existente entre desenvolvimento econômico e degradação ambiental foi introduzida na pauta da agenda internacional na 1ª Conferência Mundial sobre Meio Ambiente Humano organizada pela ONU, em 1972 (UN, 1997). Nessa histórica Conferência de Estocolmo, surgiu o conceito de ecodesenvolvimento, propondo uma alternativa que concilia a sustentação do desenvolvimento econômico eficiente no longo prazo com a melhoria das condições sociais e o respeito ao meio ambiente.

A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento foi estabelecida pela ONU, em 1983, com o objetivo de avaliar a eficácia das políticas ambientais para enfrentamento dos processos de degradação ambiental. Comandada por Gro Harlem Brundtland, Primeira-Ministra da Noruega, a Comissão apresentou o conceito de desenvolvimento sustentável, "que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades" (UN, 1997). Os estudos da Comissão foram publicados em 1987 (WCED, 1987), em um documento final mais conhecido como "Nosso Futuro Comum".

Em 1988, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a Organização Meteorológica Mundial estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*). O IPCC analisa a literatura técnica e científica internacional sobre mudança do clima e divulga periodicamente os relatórios de avaliação, reconhecidos como fontes confiáveis de informação.

A busca de um equilíbrio entre os aspectos ambientais e econômicos da energia norteou a 2ª Conferência Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992 (mais conhecida como Rio 92). Nessa ocasião, foi assinada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, sigla em inglês para *United Nations Framework Convention on Climate Change*).

O objetivo fim da Convenção do Clima é a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera em um nível que previna uma interferência perigosa no sistema climático. Para tanto, são requeridas mudanças expressivas no uso da energia,

abrangendo a inovação tecnológica, melhorias de eficiência energética, conservação, o uso de fontes renováveis e captura e estocagem de carbono. As nações que assinaram a Convenção do Clima anunciaram a intenção de estabilizar suas emissões de GEE no ano de 2000 aos níveis de 1990. Note-se que a Convenção estabeleceu dois grupos: o Anexo I (composto pelos países industrializados membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, em 1992, Comunidade Europeia e países industrializados da ex- URSS e do Leste Europeu). Os demais países são listados como não-Anexo I.

Dentre os princípios básicos da Convenção do Clima, destaca-se o das "responsabilidades comuns, mas diferenciadas", através do qual foram estabelecidos compromissos específicos para as Partes (nações) desenvolvidas, com fundamento na equidade e de acordo com suas "respectivas capacidades". Desta forma, foi reconhecido que, em função dos ciclos biogeoquímicos, a maior parcela das emissões históricas de GEE que contribuem para o processo de aumento da temperatura média da Terra identificado pelas investigações científicas é originária dos países desenvolvidos. Portanto, reconheceu-se que os principais responsáveis históricos pelo aquecimento global eram os países desenvolvidos, e que a parcela proveniente dos países em desenvolvimento ainda aumentaria, de forma a satisfazer as suas necessidades sociais e de desenvolvimento.

Em 1995, foi realizada a primeira Conferência das Partes (COP, sigla em inglês para *Conference of Parties*) em Berlim, COP-1 Alemanha. Nessa ocasião, o governo brasileiro apresentou ao grupo *Ad-Hoc* de Berlim a proposta de responsabilidades históricas - o que mais tarde ficou conhecido como a Proposta Brasileira. Nesta proposta, cada país Anexo I assumiria em Quioto o compromisso de redução de emissões, de modo que o ônus para sua economia fosse proporcional à sua respectiva contribuição para a mudança global do clima, estimada de forma objetiva de acordo com a fração da elevação da temperatura média global decorrente de suas emissões, aplicando-se, então, o princípio do poluidor pagador. Assim, destacava-se que as responsabilidades pelo aumento da temperatura devido às emissões de GEE do uso de combustíveis fósseis entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento só se equiparariam posteriormente.

Por fim, deve-se ter claro que o princípio da precaução, também preconizado pela Convenção do Clima, apregoa que

as Partes devem adotar medidas “para prevenir, prevenir ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos” e que “a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar essas medidas”. Ao adotar tal Princípio, justifica-se a ação das partes com base nas evidências já apresentadas na Convenção do Clima, seguindo uma abordagem de minimizar a chance de máximo arrependimento<sup>1</sup>.

### 3 ACORDOS INTERNACIONAIS

#### 3.1 PROTOCOLO DE QUIOTO

Discussões sobre como estes objetivos seriam atingidos foram se tornando mais robustas e a COP-2 (Genebra, Suíça), como também as diversas outras reuniões efetuadas pelo grupo *Ad-Hoc* de Berlim para discutir o tema, foram um preparatório para elaborar uma proposta a ser apresentada na COP-3 em Quioto (Japão). Tal proposta teria como objetivo estabelecer e aprovar compromissos para redução de emissões de GEE das Partes Anexo I.

O Protocolo de Quioto foi assinado na COP-3 (Quioto, Japão) em 1997, como um compromisso assumido pelos países integrantes do Anexo I para que conjuntamente suas emissões anuais fossem reduzidas em 5,2% entre os anos de 2008 -2012, tendo como referência o ano de 1990. Ele deveria entrar em vigor 90 dias após sua ratificação por pelo menos 55 Partes da Convenção, contabilizando ao menos 55% das emissões totais de CO<sub>2</sub> em 1990 deste grupo de países. Este documento descreve no seu Anexo A a definição dos gases que devem ser controlados, bem como os setores e categoria das fontes e o Anexo B com as Partes que possuem compromissos de redução ou limitação de emissões. Este Anexo B é análogo ao Anexo I da Convenção do Clima, à exceção da Turquia e Belarus.

O Protocolo representou o início de um padrão de negociação internacional por consenso, estabelecendo metas de redução de emissões para países Anexo I e indicando que para que houvesse estabilização das concentrações de GEE na atmosfera, seria inevitável que os países Não-Anexo I também adotassem compromissos. Foram concentrados muitos esforços nas COPs seguintes

De qualquer forma, é preciso ter claro que a posição do IPCC em seu IV Relatório é de que: “O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar” (IPCC, 2007).

para que o Protocolo de Quioto fosse ratificado, o que finalmente aconteceu em 16 de fevereiro de 2005, na COP-11 (Montreal, Canadá). A Proposta Brasileira não foi implementada, mas inspirou a criação do MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, inspirado no Fundo de Desenvolvimento Limpo da Proposta do Brasil.

Além desse, foram estabelecidos outros dois mecanismos de flexibilização: o comércio de certificados de emissões (*emissions trading*) e a implementação conjunta (*joint implementation*).

O Relatório Stern (2006), estudo de referência sobre o impacto econômico do efeito estufa, elaborado pelo – economista-chefe do Banco Mundial, Nicholas Stern, foi divulgado outubro de 2006. Este documento afirma que o aquecimento global pode custar 20% do PIB global até 2050. Segundo o autor, se cada país contribuísse com 1% de seu PIB os impactos decorrentes destas alterações seriam muito menores, citando o princípio do poluidor pagador.

É previsto no relatório que, devido às mudanças climáticas, poderá haver a redução de consumo *per capita* na ordem de 20%, além de gerar recessão mundial e milhares de mortos. Nesse sentido, incorporando uma abordagem de risco para lidar com as incertezas dos impactos ambientais, o Relatório Stern enfatiza que, aceitas as previsões científicas sobre mudanças no clima global, haveria um considerável incremento nos custos econômicos de abatimento das emissões de GEE ao se postergar o enfrentamento do desafio.

<sup>1</sup> O máximo arrependimento é corroborar as previsões da maioria dos cientistas de que o aquecimento global levará a maior intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, quando não houver mais tempo hábil para prevenir a mudança do clima. É a mesma lógica do seguro de um veículo: se faz

o seguro não porque se prevê que o veículo será furtado ou roubado (ou sofrerá colisão), mas para minimizar o máximo arrependimento, qual seja, perder o valor total do veículo no caso de o mesmo vir a ser furtado ou roubado (ou colidir com perda total).

Ainda que tenha havido controvérsia acerca da sensibilidade dos resultados encontrados por Stern em função da taxa de desconto utilizada ser muito baixa (Nordhaus, 2007), o mérito qualitativo da abordagem foi trazer para o foco dos debates as consequências econômicas da postergação da redução das emissões de GEE.

Posteriormente, em 2016, Stern (2016) reafirmou a solidez de suas proposições, alertando que as descobertas científicas adicionais em 10 anos revelaram que a sensibilidade climática é maior do que ele havia assumido no Relatório de 2006 e que os custos de abatimento das emissões de GEE nas alternativas então consideradas são menores (em decorrência queda dos custos de medidas de eficiência energéticas, tecnologias de fontes renováveis e outras inovações). Adicionalmente, a postergação da ação traz custos extras por causa do trancamento tecnológico<sup>2</sup> em fontes de maiores fatores de emissões (associado à vida útil dos novos investimentos em tecnologias mais emissoras de carbono).

Stern ressalta ainda, em 2016, que investimentos em inovações de processos, produtos e infraestruturas mais sustentáveis geram novos negócios, benefícios socioeconômicos, oportunidades de geração de riqueza e outros benefícios (qualidade de vida, saúde pública, ecossistemas mais fortalecidos, etc.). Ou seja, suas

### 3.2 ACORDO DE COPENHAGEN

Realizada em dezembro de 2009, a COP-15 marcou o ápice de um processo de dois anos de negociações, iniciado no Plano de Ação de Bali em 2007 sobre um novo acordo climático. O evento contou com a presença de um público sem precedentes de mais de 40.000 pessoas representando governos, organizações não governamentais, imprensa, entre outros, além da presença de cerca de 115 líderes mundiais. Este encontro era considerado de elevada importância, pois tinha como principal objetivo estabelecer as metas de redução de GEE para o período que se inicia em 2013. Sumariamente, com base no FAR – Fourth Assessment Report do IPCC, este Acordo aponta a necessidade de manter o

proposições de urgência de ações ficaram ainda mais robustas.

Vale destacar que, a despeito de diferenças técnicas em parâmetros específicos de modelagem com Stern, o economista laureado com o Prêmio Nobel, William D. Nordhaus, ao incorporar novas evidências, passou a defender visão qualitativamente similar à de Stern: “ao levar em consideração as incertezas, a força da política (quando medida pelo custo social do carbono ou pela taxa ótima de carbono) subiria, não decresceria” (Nordhaus, 2017).

Em maio de 2007, foi divulgado o TAR – *Third Assessment Report* do IPCC, onde se afirma que mudanças no estilo de vida e nos padrões de consumo podem contribuir para a mitigação da mudança do clima em todos os setores, desde que tenham como objetivo a manutenção dos recursos naturais e através de uma economia sustentável, com baixo uso de carbono e equitativa. O relatório ainda enfatiza as necessidades de mudanças no comportamento da população mundial, nos padrões culturais, nas escolhas dos consumidores e no uso de tecnologias para promover uma redução considerável das emissões de CO<sub>2</sub>. O planejamento urbano e o fornecimento de informações e técnicas educacionais podem ser medidas importantes para diminuir as emissões de GEE.

aumento da temperatura global abaixo de 2°C, não mencionando onde serão os cortes necessários para isso. De acordo com o documento, as Partes Anexo I comprometem-se a implementar metas quantificadas de emissões para 2020, individual ou conjuntamente, que deverão ser submetidas ao Secretariado até janeiro 2010.

Além disso, estes países também se comprometem a contribuir monetariamente, para ações de mitigação e adaptação para os países mais vulneráveis frente aos efeitos das mudanças climáticas. O texto ainda identifica a importância de reduzir as emissões produzidas decorrentes das mudanças de uso do solo, i.e., desmatamento e degradação das florestas, e concorda em promover

<sup>2</sup> Dependência do uso de uma determinada tecnologia, decorrente da dificuldade associada à sua substituição por outra, devido aos altos custos envolvidos (inclui tempo de vida útil dos investimentos anteriores).

incentivos positivos para financiar ações com estes fins subsidiadas com recursos dos países desenvolvidos.

Apesar do esfriamento das negociações na tentativa de estabelecimento de um novo acordo global, essa Conferência teve como pontos positivos o reposicionamento da política climática dos EUA, a participação de países como o Brasil, China, Índia e África do Sul assumindo, pela primeira vez, metas públicas de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, bem como a participação paralela de empresas, organizações da

### 3.3 ACORDO DE PARIS

O amadurecimento das discussões com o objetivo de alcançar as metas globais de redução de emissão de GEE evoluíram para novas negociações. Destas, surgiram novas propostas que visaram elevada adesão das partes e alta efetividade. Neste contexto, foi estabelecido na COP-21, realizada em Paris em 2015, um novo acordo com o objetivo central de fortalecer a resposta global à mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes destas mudanças. O Acordo de Paris estabelece um caminho para limitar o aumento da temperatura global para menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, concentrando esforços para que o aumento esteja limitado a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais no período pós 2020. Este Acordo foi aprovado pelos 195 países partes da Convenção Quadro (UNFCCC) no contexto do desenvolvimento sustentável. Para sua entrada em vigor era necessária a ratificação de ao menos 55 países, responsáveis por 55% das emissões mundiais de GEE. O mecanismo proposto para que os objetivos deste acordo fossem alcançados foram as iNDC (*intended Nationally Determined Contributions*), onde cada nação foi responsável pela construção de seus próprios compromissos, adequando a redução de emissões ao que

### 3.4 NDC DO BRASIL

Protagonista nas discussões internacionais sobre mudanças climáticas, o Brasil apresentou sua Contribuição Nacionalmente Determinada na COP 21. O país assumiu o compromisso de reduzir, em 2025, as emissões de GEE em 37% e, em 2030, fez a indicação de reduzir em 43%, tendo o ano de 2005 como referência. Tais medidas consideram todo o conjunto da economia (abordagem *economy-wide*) em território nacional, englobando os setores de energia,

sociedade civil e governos. O Brasil ocupou posição proeminente nestas discussões, assumindo o compromisso voluntário nacional de reduzir entre 36,1% e 38,9% a emissão de GEE até 2020. Esta meta foi transformada na Lei 12.187, promulgada em dezembro de 2009. Como o Brasil é grande emissor de GEE decorrentes de mudança de uso do solo, foi também firmado um compromisso de redução do desmatamento na Amazônia em 80% até 2020.

cada governo considerava viável a partir do seu cenário social e econômico local. Os termos dos compromissos de cada país foram registrados na forma de NDCs.

Atualmente, estão em discussão estratégias e ações necessárias para implementação da NDC brasileira. O assunto é pauta na agenda de diversos órgãos do governo, setor privado, academia e ONGs. No que se refere ao financiamento, o Acordo prevê que os países desenvolvidos deverão investir em países em desenvolvimento em medidas de combate à mudança do clima e adaptação. Neste Acordo é também previsto a possibilidade de financiamento entre países em desenvolvimento: “cooperação Sul-Sul”, uma novidade que amplia a base de projetos financiados.

O Brasil ainda tem um caminho longo a percorrer para atingir padrões socioeconômicos comparáveis aos de países desenvolvidos. Por esse motivo, o consumo de energia per capita deverá aumentar consideravelmente até 2030. Portanto, não é esperada tendência de redução absoluta das emissões do setor de energia. É esperado que as emissões do setor sejam crescentes, mesmo contando com ampla participação de fontes renováveis (EPE, 2018).

agricultura, floresta, resíduos e processos industriais, incluindo CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF<sub>6</sub>.

É fundamental o entendimento que a NDC brasileira se aplica ao conjunto da economia, não havendo uma distribuição formal da contribuição de cada setor específico. Portanto, baseia-se em caminhos flexíveis para atingir os objetivos de 2025 e 2030 (indicativo), os quais passam por inovações tecnológicas, condições de mercado,

políticas públicas, entre outros, que podem afetar a hierarquia de custo de abatimento de emissões de GEE de medidas específicas.

A Figura 1, que apresenta as emissões brasileiras por setor em 2005 e em 2015, demonstra claramente a possibilidade de redução global das emissões de GEE, a partir da redução de um setor, apesar do aumento dos demais. Portanto, um dos caminhos poderá ser através da redução de queimadas e de mudança do uso da terra, a partir de manejos mais sustentáveis, incorporação de inovações tecnológicas e aumento de produtividade agrícola. A vantagem desse caminho é manutenção do reconhecimento de padrões de sustentabilidade do agronegócio do País, evitando barreiras comerciais (tarifárias e não-tarifárias) em mercados consumidores estrangeiros e auferindo prêmios de qualidade nos preços por diferenciação de sustentabilidade (já presentes em diversos mercados).

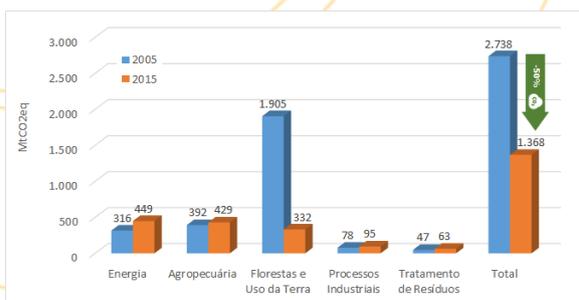


Figura 1: Emissões brasileiras por setor - 2005 e 2015

Fonte: MCTI (2016)

No setor energético, o Brasil se destaca pela grande participação de fontes renováveis em sua matriz, diferentemente da maior parte dos demais países. Consequentemente, apresenta também uma menor intensidade energética (tCO<sub>2</sub>/MJ). No entanto, em termos de indicadores socioeconômicos, o país ainda está muito aquém dos padrões de vida dos países desenvolvidos. Espera-se, então, que, a partir de uma perspectiva de crescimento econômico, associada à redução do nível de pobreza até 2030, haverá um aumento do consumo energético per capita. Nesta situação as emissões do setor de energia, em termos absolutos, serão crescentes, como já mencionado.

Torna-se, então, um grande desafio manter elevada a participação de fontes renováveis na sua matriz, o que requer ações e políticas que permitam manter os indicadores de emissão de GEE brasileiros entre os melhores do mundo.

Em anexo ao compromisso brasileiro apresentado na COP 21 são fornecidas também informações adicionais, apenas para fins de esclarecimento, sobre medidas passíveis de serem adotadas que são compatíveis com o atingimento da meta global de redução das emissões de GEE proposta pelo País (BRASIL, 2015). Tais medidas adicionais são consistentes com a meta global de longo prazo de conter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais. Entre as medidas adicionais elencadas no anexo à proposta brasileira (BRASIL, 2015) que o País pretende adotar, encontram-se:

*i) aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel;*

*ii) no setor florestal e de mudança do uso da terra:*

- fortalecer o cumprimento do Código Florestal, em âmbito federal, estadual e municipal;
- fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de gases de efeito de estufa provenientes da supressão legal da vegetação até 2030;
- restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, para múltiplos usos;
- ampliar a escala de sistemas de manejo sustentável de florestas nativas, por meio de sistemas de georeferenciamento e rastreabilidade aplicáveis ao manejo de florestas nativas, com vistas a desestimular práticas ilegais e insustentáveis;

*iii) no setor da energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo:*

- expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030;
- expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar;
- alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

Além disso, conforme descrito no anexo à contribuição do País ao Acordo de Paris (BRASIL, 2015), o Brasil também pretende :

iv) no setor agrícola, fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (iLPF) até 2030;

v) no setor industrial, promover novos padrões de tecnologias limpas e ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono;

vi) no setor de transportes, promover medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas.

Nesse contexto, em dezembro de 2017, foi promulgada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), por intermédio da Lei nº 13.576/2017 (BRASIL, 2017), que tem como objetivo principal reconhecer o papel estratégico dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, com relação à segurança energética e à mitigação das emissões de gases causadores do efeito estufa no setor de combustíveis. Os fundamentos desta política são: i) a contribuição dos biocombustíveis para a segurança do abastecimento nacional de combustíveis, da preservação ambiental e para a promoção do desenvolvimento e da inclusão econômica e social; ii) a promoção da livre concorrência no mercado de biocombustíveis; iii) a importância da agregação de valor à biomassa brasileira; e, iv) o papel estratégico dos biocombustíveis na matriz energética nacional. O funcionamento do RenovaBio se baseia em três instrumentos principais: metas anuais de redução de intensidade de carbono ( $\text{gCO}_2/\text{MJ}$ ) na matriz de

combustíveis para um período de dez anos, Certificação de Biocombustíveis e Crédito de Descarbonização (CBIO).

Além desta nova política pública, o Brasil conta com instrumentos regulatórios e econômicos como os mandatos de adição obrigatória de biocombustíveis aos derivados de petróleo, os mecanismos de diferenciação tributária entre renováveis e fósseis, além de linhas de financiamento específicas para fontes renováveis de energia.

Algumas iniciativas internacionais também surgiram na sequência da COP 21 com o intuito de garantir o atendimento das metas pretendidas. A iniciativa *Mission Innovation* (MI) propõe: (i) criar novas metodologias para inovações tecnológicas, melhorar as existentes e reduzir custos; (ii) atrair negócios, interesse de investidores para estímulo de ações globais; e (iii) permitir o acesso à população mundial às energias limpas. Seu objetivo é permitir que haja industrialização e difusão em larga escala das novas tecnologias limpas (MI, 2017). A MI propõe a criação de 7 eixos de Desafio da Inovação, e um deles foca em Biocombustíveis Sustentáveis (*Sustainable Biofuels Innovation Challenge*), no qual a EPE é um dos pontos focais.

Na COP22, realizada em Marraqueche (Marrocos), em sinergia com a MI, foi lançada a Plataforma Biofuturo, que conta com a participação de 20 países. A proposta é construir um diagnóstico atualizado da economia de baixo carbono nos países envolvidos, com visão para 2030, conjuntamente com uma série de políticas focadas em 2017 (BIOFUTURE PLATFORM, 2017).

## 4 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E EMISSÕES GLOBAIS DE GEE

Vale a pena ressaltar a estreita correlação entre mudanças climáticas e transição energética, conforme já mencionado no artigo da EPE publicado no Ciclo de Debates do IBP em abril (EPE, 2019). Adicionalmente, a alta competitividade e as margens de lucros mais apertadas nos setores produtivos são fatores que incentivam a redução dos custos de produção, no qual a energia é um componente essencial. Desta forma, a eficientização dos processos produtivos terá seu papel na mitigação das emissões.

Nas diversas economias, cada setor (Energia, Agricultura, Florestas e Uso do Solo, Processos Industriais e Resíduos) apresenta um perfil específico de emissões de GEE. Mundialmente, aquele que tem maior participação nas emissões é o energético, no qual as fontes que compõem a oferta interna de energia de cada país têm impacto direto neste perfil. Com relação ao Brasil, em 2005, o setor de Florestas e Uso do Solo possuía a maior parcela nas emissões (69%). Com a redução de queimadas e desmatamentos, esse panorama alterou-se em 2015 com o setor de Energia sendo o de maior contribuição, atingindo cerca de 33%, conforme já mostrado na Figura 1.

A matriz energética mundial tem sido bastante alterada ao longo dos anos, em virtude da viabilidade de uso de novos recursos, assim como pela existência de conversores mais eficientes (SMIL, 2010; SOVACOOOL, 2016, EPE, 2019).

Inicialmente, a humanidade viveu um longo período baseado no uso de biomassa para finalidade térmica (cocção, calefação e geração de calor para manufatura) e no uso de energia endossomática (muscular) dos animais e de outras fontes primárias como a hidráulica do curso dos rios (roda d’água) e eólica (moinhos de ventos) para finalidade mecânica (EPE, 2019). Porém, no decorrer da história, transições energéticas, representadas pelo uso disseminado do carvão mineral nos Séculos XVIII e XIX (Primeira Revolução Industrial) e do petróleo no final do Século XIX e no Século XX (Segunda Revolução Industrial), alteraram significativamente o perfil da matriz energética dos países. A eletricidade também teve papel fundamental, mas, de certa forma, foi complementar ao carvão e ao petróleo, visto que boa parte da geração elétrica estava associada a essas fontes.

Estes processos impactaram fortemente as mudanças climáticas, uma vez que há evidências, em elevado nível de confiança, que o consumo de combustíveis fósseis é o principal responsável pelo aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>. Este, por sua vez, é o GEE mais importante, tanto em termos de emissões, quanto em concentrações e absorção de energia.

Não por outro motivo, um dos principais determinantes da nova transição energética é a mudança climática global e, por conseguinte, a busca pela inserção de fontes de baixo carbono nas matrizes energéticas dos países e do mundo como um todo.

Nesse sentido, a nova transição energética trará modificações significativas na matriz energética primária mundial em favor de fontes de menor emissão de gases de efeito estufa e menor pegada ambiental (EPE, 2019).

De uma forma geral, como apontado por EPE (2019), a nova transição energética favorecerá a eletrificação (sobretudo renovável), os biocombustíveis, a eficiência energética e o gás natural, que se constituirá no combustível da transição. O gás natural compatibilizará a integração entre os paradigmas tecnológicos dos combustíveis fósseis e dos renováveis ao viabilizar uma maior introdução de fontes renováveis não despacháveis. Além disso, o gás natural

também poderá ter sua pegada ambiental reduzida à medida que incorpore no portfólio de oferta volumes crescentes de biogás/biometano ao longo da transição energética.

Essa visão de linha narrativa de cenários em favor de fontes de baixo carbono é encontrada nos principais estudos prospectivos do setor energético, como revela a Figura 2.

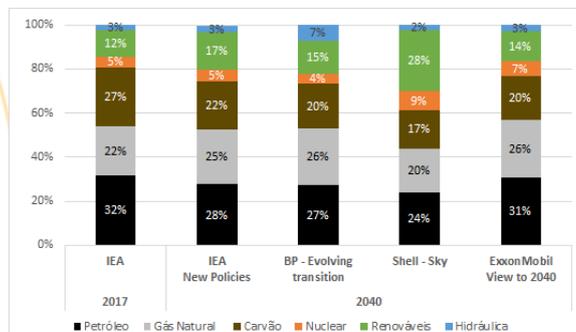


Figura 2: Projeções da matriz energética mundial - 2040  
Fonte: IEA (2018), Shell (2018), BP (2018) e Exxon (2018)

Ademais, tal visão de futuro também já tem levado à redefinição das estratégias de mercado de várias empresas de O&G e da indústria automotiva, bem como tem motivado o surgimento de novas empresas de energia e logística com foco em baixo carbono.

Ainda assim, como mencionado em EPE (2019), diante de necessidades energéticas crescentes (universalização do acesso a fontes de energia moderna) e dos desafios para substituição de seus derivados, o petróleo continuará sendo a principal fonte de energia na matriz energética primária mundial nas próximas décadas (BP, 2018; SHELL, 2018, IEA, 2018A).

Nesse sentido, a redução das emissões de GEE ao longo de toda a cadeia de valor da indústria de petróleo e de gás natural torna-se uma estratégia de negócios fundamental para manter suas atividades à medida que se reduz a pegada ambiental da indústria e se desenvolvem novas capacidades e negócios.

Ao se observar o papel do Brasil nesse contexto, verifica-se que a matriz energética nacional é bastante diversificada e se sobressai mundialmente pela elevada participação de fontes renováveis (45%), destacando-se o elevado grau de aproveitamento de biomassa e de recursos hidráulicos e, mais recentemente, a inserção da energia eólica e solar (EPE, 2019a). Assim, a singularidade atual da matriz energética brasileira é o propósito futuro de muitas nações, sendo um desafio para o país mantê-la. O aproveitamento

dos recursos renováveis é uma das opções mais promissoras para um futuro energético sustentável.

## 5 OPORTUNIDADES DE REINVENÇÃO DA INDÚSTRIA DE O&G

A busca por combustíveis e tecnologias que causem menor impacto ao meio ambiente (pegada ambiental), a partir da eficiência dos processos produtivos e do uso de combustíveis com menor intensidade energética levarão à necessidade da indústria de óleo e gás se reinventar, como já fez historicamente algumas vezes.

Nessa linha, o *IEA Gas & Oil Technology Collaboration Programme* (GOT), criado em março de 2013, tem como foco explorar o nexo entre hidrocarbonetos e renováveis por intermédio das sinergias das tecnologias transversais (i.e., aplicáveis a ambas as indústrias)<sup>3</sup>.

Vários projetos sobre o nexo hidrocarbonetos-renováveis foram apresentados em Workshops do IEA GOT. Em especial, no *“Nexus of Oil & Gas and Renewables in the Energy Future”*, organizado pelo *National Renewable Energy Technology Laboratory* em 27 e 28 de setembro de 2017, em Golden no Colorado, EUA (DOE, 2019) e no *“On the role of the renewable and hydrocarbon nexus in accelerating the energy transition”*, organizado pela IEA GOT em 11 e 12 de outubro de 2018, em Bruxelas na Bélgica (IEA, 2018b).

Além de projetos sobre ganhos de eficiência energética na cadeia de valor da indústria de petróleo e gás natural (eficiência de compressores, bombas, trocadores de calor, etc.), merecem destaques a integração de fontes renováveis (eólica e solar), de captura e estocagem de carbono (CCS) e oferta de novas fontes de energia em atividades do *upstream* a fim de reduzir a pegada ambiental dos projetos da indústria de O&G, particularmente:

- Eletrificação de plataformas de produção de O&G e integração energética com fontes renováveis, trazendo ganhos de eficiência relevantes às operações - vide Figura 3;
- Métodos de Recuperação de Petróleo (*Enhanced Oil Recovery* – EOR) utilizando Concentração Solar (*Concentrating Solar Power* – CSP) para geração de eletricidade para consumo próprio e para geração de vapor para injeção no reservatório (*Solar*

*thermal enhanced oil recovery* ou S-EOR) – vide Figura 5;

- Utilização de tecnologias de imagem e modelagem de subsuperfície para eliminar riscos de poços secos na exploração de recursos não convencionais (evitando custos financeiros e emissões de GEE desnecessárias);
- Utilização de captura e estocagem de carbono (CCS) para aumento da recuperação de O&G e/ou para redução de pegada ambiental;
- Geração de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e/ou de combustíveis sintéticos (*power to gas* ou *power to liquids*) em áreas produtoras (vide Figura 4).

Ressalte-se que já há disponível uma vasta literatura especializada sobre esses temas – vide, por exemplo, WRIGHT (2018), GUPTA *et al.* (2017), GORDON e FELDMAN (2016) e ROCKETT *et al.* (2013).

Também se deve notar que, ao reduzir o consumo próprio de hidrocarbonetos das unidades produtoras, essas ações aumentam a disponibilização de oferta de O&G ao mercado, contribuindo para pagar o custo de abatimento das emissões de GEE na etapa de produção.

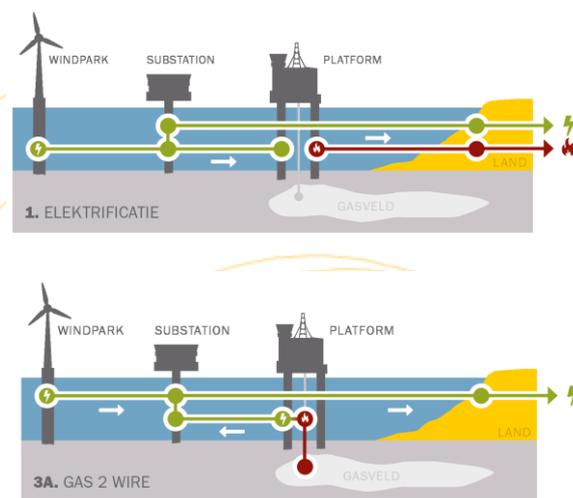


Figura 3: Conceito de Projetos de Eletrificação de Plataformas Offshore

Fonte: VAN DER VEER, et al. (2018)

<sup>3</sup> Vide: <http://gotcp.net/>

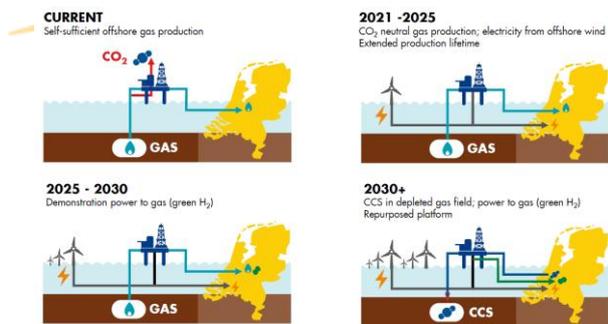


Figura 4: Conceitos de Projetos de Aproveitamento de Gás Offshore nos Países Baixos

Fonte: VERMOLEN (2018).

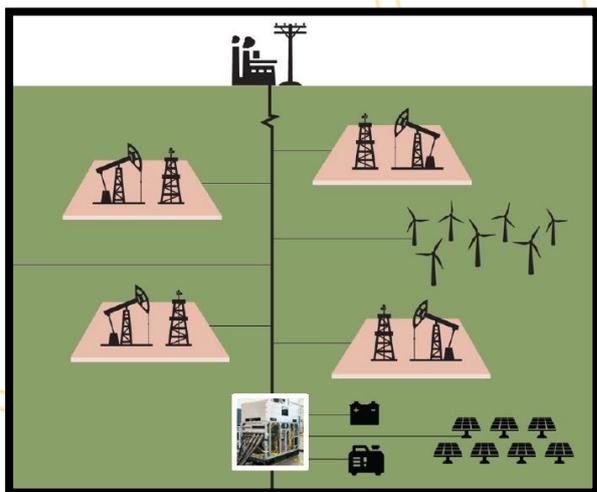


Figura 5: Conceito de Projetos de Eletrificação de Wellpad e Plataformas via Micro-redes

Fonte: ENGEL-COX, Jill (2018).

Além da redução da pegada ambiental, a alteração do portfólio de oferta de energia das empresas de O&G em favor de fontes de baixo carbono também é tendência de longo prazo da indústria.

Nesse sentido, a maior oferta de gás natural dará sustentação tanto para o aumento da flexibilidade quanto para a confiabilidade da matriz elétrica futura. A própria geração elétrica por fontes renováveis (eólica offshore e solar) pela indústria de O&G requererá geração a gás natural para lidar com a intermitência daquelas fontes primárias.

No mercado de combustíveis (*downstream*), diversas empresas de O&G têm buscado, similarmente, diversificação em direção a ofertas de combustíveis de baixo carbono. Assim, pode-se observar o crescimento do uso de GNL, HVO (*hydrotreated vegetable oil*) e de biogás/biometano para veículos pesados (respectivamente, caminhões de longo curso, caminhões urbanos e caminhões de lixo e/ou máquinas agrícolas). Nos próximos anos,

também ocorrerão mudanças significativas na especificação de bunker marítimo, sendo que é esperado um significativo desenvolvimento de GNL para navios no médio e longo prazo.

A oferta e a demanda de etanol têm se concentrado no Brasil e nos EUA. Todavia, a partir da Plataforma Biofuturo, o interesse por etanol carburante tem se ampliado. O avanço da produção comercial do etanol de lignocelulose (E2G) será um passo fundamental para que o etanol se consolide como uma fonte energética disponível globalmente. A gasolina verde, o bioquerosene de aviação e os combustíveis sintéticos (*blue crude*) também poderão fazer parte dessa estratégia a partir da superação do desafio de assegurar ofertas mais competitivas (HYDROCARBON PROCESSING, 2018). O mesmo se aplica ao hidrogênio.

Tal caminho poderá transformar as refinarias em verdadeiros complexos energéticos, fundados na elevada automação, com informações em tempo real, envio de bancos de dados para a “nuvem” e administração de *big data* serão recursos requeridos para novos projetos (HYDROCARBON PROCESSING, 2018).

Dessa forma, como ressaltado em EPE (2019), acredita-se que haverá uma progressiva migração da expertise intrínseca à indústria de O&G, a qual fortalecerá sua base para oferta e uso de fontes renováveis em direção à redução de sua pegada ambiental.

Em maior ou menor grau, as empresas de O&G já iniciaram essa reinvenção, incorporando-a em suas respectivas estratégias.

Em 2015, a GDF Suez mudou seu nome para Engie, reposicionando seu portfólio para lidar com a transição energética e com as mudanças climáticas. Em 2017, em um comunicado à Secretária Executiva da United Nations Framework Convention on Climate Change, a Shell anunciou a ambição de reduzir sua pegada ambiental em 20% até 2035 e em 50% até 2050. Em 2018, seguindo caminho semelhante ao da Engie, a Statoil alterou seu nome para Equinor a fim de refletir melhor sua estratégia associada aos desafios da transição energética e o maior foco em renováveis. A BP também tem se posicionado estrategicamente para a transição energética há alguns anos, ampliando seu foco em gás natural, solar e biocombustíveis. A ExxonMobil, mesmo incorporando em

seu planejamento estratégico uma visão de transição energética, tem sido pressionada por parte de seus acionistas para assumir uma posição mais agressiva na transformação de seu portfólio para lidar com os riscos econômicos associados às mudanças climáticas. A Petrobras, apesar do maior foco em E&P nos últimos anos, também tem antevisto em seu planejamento de longo prazo (2040) o papel da geração elétrica a partir de fontes renováveis (eólica offshore, solar e ondas), além de ter desenvolvido patentes de H-Bio (processo para produzir HVO). Outras empresas também têm seguido esse caminho. Enfim, as empresas de O&G estão, em maior ou

menor grau, buscando se posicionar frente às mudanças climáticas e à nova transição energética.

Em resumo, espera-se que os desafios impostos à indústria de O&G pela necessidade de redução das emissões locais e globais e pelas transformações associadas à nova transição energética tornem-se grandes oportunidades de negócios. Diversas inovações que têm sido implementadas ou desenvolvidas pela indústria de O&G já vão nessa direção. De fato, mesmo que o processo de transição energética seja longo, já se percebe uma mudança no clima de negócios na indústria.

## Referências

- 1) BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 dezembro 2017. Disponível em: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acessado em 27 mar. 2019.
- 2) BIOFUTURE PLATFORM. **Scaling up the low carbon bioeconomy: an urgent and vital challenge 2018**. Disponível em: <http://biofutureplatform.org/wp-content/uploads/2017/11/Biofuture-Platform-Vision-Statement-Final.pdf>. Acessado em 25 mar. 2019
- 3) BP - BRITISH PETROLEUM. **BP Energy Outlook – 2018 edition**, 2018. Disponível em: [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de\\_ch/PDF/Energy-Outlook-2018-edition-Booklet.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/Energy-Outlook-2018-edition-Booklet.pdf). Acessado em 27 mar. 2019.
- 4) DOE - Department of Energy. **Hydrogen Production: Natural Gas Reforming**, 2019. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>. Acessado em 28 mar. 2019
- 5) ENGEL-COX, J. Jisea – Joint Institute for Strategic Energy Analysis. Apresentação: **A vision for the Hydrocarbon-Renewable Nexus: Synergies from a System Integration Perspective**. (2018).
- 6) EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em: 27 mar. 2019.
- 7) \_\_\_\_\_. **Panorama sobre a Transição Energética**. Ciclo de Debates sobre Transição Energética (IBP/EPE). Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em: 27 mar. 2019.
- 8) \_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional 2019: Ano-base 2018**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: EPE 2019a. Fonte: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- 9) EXXONMOBIL. **Outlook for Energy: a View to 2040**, 2018. Disponível em: <https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Energy-resources/Outlook-for-Energy/2018-Outlook-for-Energy-A-View-to-2040#aViewTo2040>. Acessado em: 28 mar. 2019.
- 1) GUPTA *et al.* **Market potential of solar thermal enhanced oil recovery-a techno-economic model for Issaran oil field in Egypt**. AIP Conference Procedures, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4984573>. Acessado em 26 mar.2019.
- 2) GORDON, D. e FELDMAN, J. **Oil Innovations to Reduce Climate Impacts**. Carnegie Endowment for International Peace, 2016.
- 3) HYDROCARBON PROCESSING. **Digitalization for the refinery and plant of the future**, in: Special Focus: Refinery of the future, 2018. Disponível em: <https://www.hydrocarbonprocessing.com/magazine/2018/july-2018/special-focus-refinery-of-the-future/digitalization-for-the-refinery-and-plant-of-the-future>. Acessado em 28 mar.2019.
- 4) IEA – International Energy Agency. **World Energy Outlook 2018**, 2018a. Disponível em: <https://www.iea.org/weo2018>. Acessado em 26 mar.2019.
- 5) \_\_\_\_\_. **Workshop on the role of the renewable and hydrocarbon nexus in accelerating the energy transition**, 2018b Disponível em: <https://www.gotcp.net/copy-of-2-day-workshop-in-brussels->. Acessado em 28 mar.2019
- 6) IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Summary for Policymakers, 2007. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf). Acesso em 10 jun. 2019.
- 7) MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**, 2016. Disponível em: [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br). Acesso em: 29 mar. 2019.
- 8) NORDHAUS, W. D. **A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change**. Journal of Economic Literature, Vol. XLV (September 2007), pp. 686–702, 2007.
- 9) NORDHAUS, W. D. **Projections and uncertainties about climate change in an era of minimal climate policies**, NBER Working Paper Series, Working Paper 22933, 2017. Disponível em:

- <http://www.nber.org/papers/w22933>. Acessado em 28 mar. 2019.
- 10) ROSA, L. P. (org.). **Greenhouse Gas Emissions Under Developing Countries Point of View**. In: Proceedings of Latin-American Workshop on Greenhouse Gas Emission of Energy Sector and their Impacts, 1996. ALAPE.
  - 11) SHELL - ROYAL DUTCH SHELL. **Cenários Shell SKY – Alcançando as metas do Acordo de Paris**, 2018. Disponível em: [www.shell.com/skyscenario](http://www.shell.com/skyscenario). Acessado em 27 mar. 2019.
  - 12) SMIL, V. **Energy Transitions: History, Requirements, Prospects**, 2010. Santa Barbara: Editora Praeger/ABC CLIO.
  - 13) SOVACOOOL, B. K. **How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions**, 2016. Energy Research & Social Science.
  - 14) STERN, N.; DIETZ, S. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Public Lecture: **Growth and Sustainability: 10 years on from the Stern Review**. The London School of Economics and Political Science, 2016.
  - 15) UN - United Nations. **Earth Summit. Background**, 1997. Disponível em: <http://www.un.org/geninfo/bp/envirp2.html>. Acesso em 08 jun. 2019.
  - 16) VERMOLEN, E. NAM – Nederlandse Aardolei Maatschappij BV. Apresentação: **The role of an Upstream Company in the Energy Transition**, 2018.
  - 17) WCED - World Commission on Environment and Development. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**, 1987. Oxford: Oxford University Press. Disponível em <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. Acesso em 06 jun. 2019.
  - 18) WRIGHT, D. **Upstream Energy Benchmarking: Identifying Energy Improvement and GHG Reduction Opportunities For Current and Future Operations, Including Technology Gaps**. Apresentação: SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Security, Environment, and Social Responsibility, 2018.
  - 19) ROCKETT, G.C. *et al.* **CO<sub>2</sub> Storage Capacity of Campos Basin's Oil Fields, Brazil**. Energy Procedia 37 (2013 ) 5124 – 5133



Empresa de Pesquisa Energética

# MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

ARTIGO EXTERNO – 10 DE SETEMBRO DE 2019

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis & Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

URL: <http://www.epe.gov.br/>

Escritório Central: Av. Rio Branco, nº 1 - 11º Andar - CEP 20.090-003 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo apresentar a matriz energética brasileira no âmbito do evento “Ciclo de Debates para Transição Energética”, organizado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Neste artigo, discute-se a evolução da matriz nacional, descrevendo seus diversos recursos energéticos, além das perspectivas de composição futura e indicadores socioeconômicos e ambientais.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil é caracterizado por sua ampla diversidade de recursos energéticos. Por um lado, o país apresenta condições edafoclimáticas bastante favoráveis e extensa disponibilidade de terra, o que favorece o aproveitamento das fontes renováveis. Por outro, detém uma das principais reservas de urânio do mundo e domina o ciclo do combustível nuclear, além de possuir a extensa província petrolífera do Pré-Sal e da bacia Sergipe-Alagoas. Desta forma, a matriz energética nacional é bastante variada e se sobressai mundialmente pelo seu elevado grau de renovabilidade, atributos observado em poucos países do mundo. Assim, as emissões de GEE por unidade de energia consumida no país são pequenas quando comparadas a de outras nações.

Contudo, o consumo energético *per capita* é bastante inferior aos padrões de países desenvolvidos. A redução do nível de pobreza tende a elevar a demanda de energia, mesmo priorizando processos de desenvolvimento menos energético-intensivos, desvinculando o aumento do consumo energético do crescimento econômico. Deste modo, o grande desafio do setor energético

brasileiro é adequar o atendimento à demanda energética nacional de forma que garanta importante participação de fontes renováveis na sua matriz, considerando critérios que garantam competitividade e confiabilidade. Isto implicará na expansão significativa da capacidade instalada de usinas eólicas, solares, termelétricas a biomassa e a construção de novas hidrelétricas, além de ampliação da produção e do consumo de biocombustíveis líquidos, como etanol e biodiesel, e de investimentos em eficiência energética. Em suma, são diversas ações e políticas a serem tomadas com o objetivo final de manter os indicadores de emissão de GEE entre os melhores do mundo, sem comprometer o avanço socioeconômico e o compromisso firmado pelo Brasil no combate às mudanças climáticas.

## EQUIPE TÉCNICA

### Coordenação Geral

Giovani Vitória Machado  
José Mauro Ferreira Coelho

### Coordenação Executiva

Angela Oliveira da Costa  
Carla da Costa Lopes Achão

### Coordenação Técnica

Gláucio V.R. Faria  
Marcelo C. B. Cavalcanti  
Rachel Martins Henriques

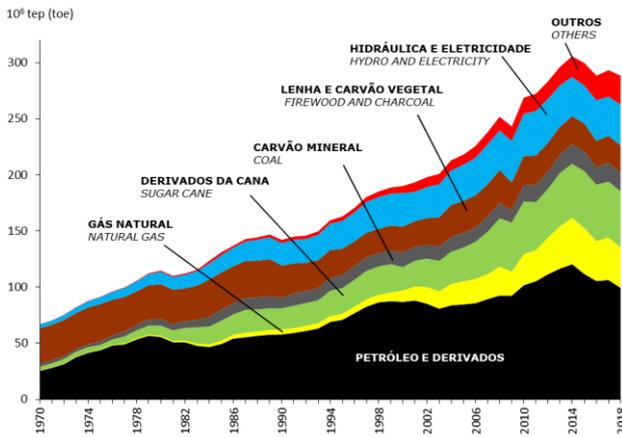
### Equipe Técnica

Angela Oliveira da Costa  
Bianca Nunes de Oliveira  
Felipe Klein Soares  
Filipe de Pádua F. Silva  
Guilherme Theulen Antoniasse  
Patrícia F. B. Stelling  
Rachel Martins Henriques  
Rafael Barros Araujo

## 2. EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

De 1970 a 2018, a matriz energética brasileira passou por uma mudança significativa em sua composição. No início desse período, com grande parte da população vivendo em áreas rurais (IBGE, 2019), a lenha e o carvão vegetal compunham grande parte da nossa matriz, representando mais de 40% da oferta nacional de energia. Tal

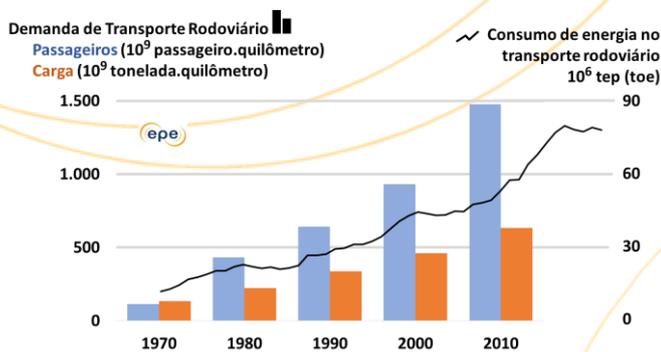
representatividade em termos relativos decaiu constantemente ao longo do tempo, para menos de 9% nos dias atuais, vide o Gráfico 1.



**Gráfico 1 - Evolução da Oferta Interna de Energia**

Fonte: EPE (2019a)

A predominância de petróleo e seus derivados na matriz, que chegou a representar mais de 50% da oferta total de energia no final da década de 1970, vem diminuindo ao longo do século XXI, tendo atingido a mínima representatividade de 34% em 2018. Não obstante essa constatação, a demanda absoluta por esses insumos vem crescendo constantemente ao longo das décadas, especialmente em decorrência do aumento da demanda por transporte rodoviário, conforme apresentado no Gráfico 2.



**Gráfico 2 - Demanda e consumo do transporte rodoviário**

Fonte: EPE (2012) e EPE (2019a)

## 2.1 BIOCOMBUSTÍVEIS

Cabe destacar também a grande participação da biomassa da cana-de-açúcar e da energia hidrelétrica, que se manteve estável na última década, representando conjuntamente cerca de 30% da energia disponível. Essas fontes são as principais responsáveis pelo alto percentual de renovabilidade na matriz energética brasileira (45% em 2018), a qual está entre as mais renováveis do mundo. (EPE, 2019b)

A matriz energética brasileira não é resultado apenas da utilização de recursos energéticos presentes em abundância no país. Pode-se dizer que a renovabilidade foi amplamente condicionada por políticas energéticas adotadas há décadas, como o incentivo ao consumo dos

derivados de cana de açúcar na matriz de combustíveis e o direcionamento à expansão da oferta de eletricidade através de grandes projetos hidrelétricos, além dos programas de eficiência energética.

Entre as políticas públicas de incentivo aos biocombustíveis que foram desenvolvidas pelo governo federal ao longo dos anos, pode-se destacar o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), criado em 1975 e que acarretou um crescimento expressivo da produção e comercialização nacional de etanol. O programa visava o atendimento às necessidades do mercado interno e externo, além da política de combustíveis automotivos. Foi uma política bem-sucedida de substituição em larga escala dos derivados de petróleo, desenvolvida para reduzir a dependência energética e a melhoria na balança comercial quando dos choques de preço do petróleo. Posteriormente, em 2003, a inserção da tecnologia *flex fuel* possibilitou a escolha do combustível no momento do abastecimento e impulsionou ainda mais o crescimento da oferta de etanol (EPE, 2016a).

Outro fator que contribuiu para o aumento da produção de etanol no Brasil foi o emprego de mandatos de adição de anidro na gasolina A, atualmente em 27% (MAPA, 2015). Além disso, por intermédio dos incentivos financeiros relacionados a linhas de financiamentos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), foram contempladas várias atividades do setor sucroenergético, através de programas como PRORENOVA, PASS, PAISS, PROGEREN, FINEM, conforme detalhado em EPE (2016a).

Além do uso de derivados da cana como combustíveis líquidos, a utilização do bagaço para geração de bioeletricidade tem apresentado participação crescente na matriz elétrica brasileira, desde a instituição do novo marco regulatório do setor elétrico, através da Lei nº10.848/2004 (BRASIL, 2004). Com isso, foram adotadas medidas com o objetivo de fomentar a criação de um mercado competitivo e de garantir o suprimento elétrico, com a execução de leilões para contratação de energia elétrica no mercado regulado, seguindo um critério de menor tarifa, e a coexistência de um ambiente de comercialização livre.

Em virtude da quantidade significativa de biomassa de cana disponível para a geração, essas térmicas podem se destacar ainda mais no cenário elétrico brasileiro, uma vez que são complementares às hidrelétricas, pois seu período de maior geração ocorre nos meses de maior estresse hídrico, conforme descrito por EPE (2015). Cabe destacar que a eletricidade gerada através da biomassa da cana-de-

açúcar não é consumida somente nas usinas produtoras (autoprodutoras de eletricidade), mas também é injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN). Desse modo, as térmicas e biomassa exercem um importante papel de contribuição para a segurança energética e para o aumento da confiabilidade do sistema elétrico.

Com esse conjunto de políticas, a participação de biomassa da cana na oferta interna de energia passou de 5,4% em 1970 para 17,4% em 2018, tornando-se a segunda maior fonte em termos de composição da matriz (EPE, 2019a).

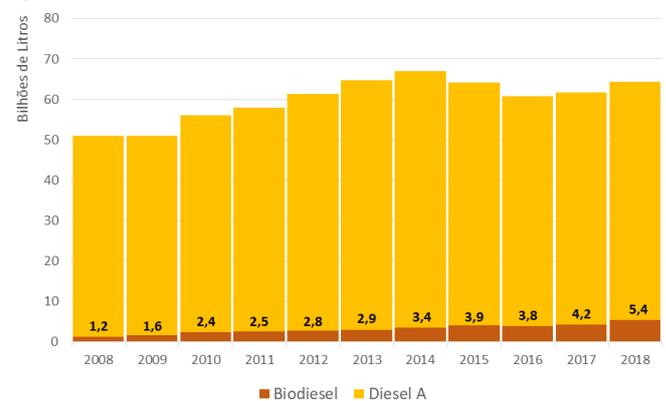
Outra fonte renovável que vem apresentando um crescimento de participação na matriz energética nacional é o biodiesel. Este combustível foi introduzido em 2005 através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), estabelecido por intermédio da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005). Sua concepção fundamentou-se em três pilares básicos: a inclusão social através da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica. O Programa foi construído com o objetivo de permitir, através de diferentes rotas tecnológicas, a utilização das diversas oleaginosas existentes no Brasil, de acordo com as potencialidades de cada região, reduzindo as desigualdades econômicas entre elas.

Entretanto, embora o país possua diversidade de insumos graxos, as principais matérias-primas utilizadas para a produção desse combustível renovável desde a implantação do programa são a soja e a gordura animal, representando em média 75% e 17%, respectivamente, do total produzido. A produção também se mostrou fortemente regionalizada: em 2018, as regiões Centro-Oeste e Sul juntas foram responsáveis por 83% da produção nacional (EPE, 2019c).

Embora a Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005) estipulasse um cronograma de adição do mandatório iniciando em 2% de biodiesel no diesel (B2), em janeiro de 2008, e alcançando 5% somente no ano de 2013, o B5 foi antecipado para janeiro de 2010, por decisão de política pública. Esse teor se manteve até 2014, quando a Lei nº 13.033 definiu sua elevação para 6%, em julho, e 7%, em novembro daquele mesmo ano (BRASIL, 2014). Em 2016, a Lei nº 13.263 estabeleceu um cronograma de elevação do mandatório para 8%, 9% e 10%, em até 12, 24 e 36 meses após sua promulgação (BRASIL, 2016). Dessa forma, em março de 2017 passou a vigorar o B8. A adição obrigatória foi alterada diretamente de 8% para 10% em

março de 2018, por decisão do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, conforme autorizava a Lei. Note-se que o CNPE autorizou a elevação do percentual de mistura de biodiesel no diesel, de 1% ao ano a partir de 2019, até 15% em 2023, o que sinaliza que sua participação na matriz aumentará, nos próximos anos (CNPE, 2018). Todavia, cabe ressaltar que tal elevação ocorrerá, desde que obedecidas as condicionantes de aprovação de testes nos motores para esse teor, conforme determina a Lei nº 13.263/2016 (BRASIL, 2016).

Vale destacar que a expansão da participação dessa fonte desloca parte do diesel, a fonte energética mais consumida no país (EPE, 2019b). A crescente do biodiesel é observada no Gráfico 3.



**Gráfico 3 - Participação do biodiesel no consumo do ciclo diesel**

Fonte: EPE (2019a)

Mais recentemente, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que vem se estruturando desde a promulgação da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, visa elaborar uma estratégia conjunta para reconhecer o papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira<sup>1</sup>, tanto para segurança energética quanto para mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essa política pode tornar o País ainda menos dependente do petróleo e dos seus derivados (BRASIL, 2017).

## 2.2 MATRIZ ELÉTRICA

Em relação à matriz elétrica brasileira o maior destaque é a energia hidráulica. A exploração dessa fonte no Brasil remonta ao final do século XIX, mas as expansões mais profundas aconteceram a partir da década de 1950, diante da estratégia de explorar o extenso potencial hidrelétrico nacional. Isso ocorreu devido à sua

<sup>1</sup> A EPE (2019c) salientou como seus propósitos mais relevantes: fomentar a expansão apropriada da produção e do uso de todos os biocombustíveis na matriz energética brasileira, com acento na regularidade do abastecimento, e colaborar com previsibilidade

para a participação competitiva dos diferentes biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis. O RenovaBio objetiva, ainda, cooperar para o atendimento aos compromissos do Brasil no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

competitividade econômica e pelo fato de ser um recurso opíparo no país. Além disso, outras vantagens relacionadas a essa fonte podem ser agregadas, tais como: a geração hidrelétrica dispõe de tecnologia madura e confiável, suas emissões de GEE são pequenas quando comparadas àquelas associadas à geração por usinas termelétricas fósseis, sua flexibilidade operativa e capacidade de armazenamento, quando com lagos reservatórios, permitem maior penetração de fontes renováveis intermitentes. A energia hidráulica (sobretudo em usinas com reservatório ou reversíveis) é capaz de responder rapidamente às intermitências da geração eólica e solar fotovoltaica e, desta forma, garantir um atendimento confiável da demanda por eletricidade. Adicionalmente, os reservatórios das usinas hidrelétricas podem prover uma série de serviços não energéticos, como controle de cheias, irrigação, processamento industrial, suprimento de água para consumo humano, umidificação do ar, recreação e serviços de navegação.

Em sequência, na década de 1990, foram realizadas reformas institucionais no setor elétrico para atrair investimento privado. Também nessa época, surgiram novos questionamentos sobre as restrições socioambientais associadas à construção de grandes reservatórios e dificuldades para financiar a construção de grandes projetos hidrelétricos, que resultaram num período de expansão hidrelétrica a taxas bastante modestas, mesmo ainda havendo significativo potencial hidrelétrico a ser explorado.

As expansões tardias e aquém dos montantes necessários para acompanhar o crescimento da demanda resultaram numa operação do sistema elétrico com maior utilização da energia armazenada nos reservatórios hidrelétricos. Enquanto que a taxa de crescimento da energia acumulada nesses reservatórios foi de 1,3% ao ano entre os anos de 2000 e 2017, a taxa de crescimento do consumo foi de aproximadamente o dobro do valor observado, 2,7% ao ano, neste mesmo período, (HENRIQUES, COSTA, MACHADO, COELHO, 2018). Aliado a isso, o estresse hídrico ocorrido em 2001 contribuiu para a crise na geração, fornecimento e distribuição de eletricidade.

Assim, o Brasil iniciou um programa de investimentos em usinas termoeletricas a gás, carvão e óleo combustível que não dependiam do ciclo hidrológico. Essas usinas tinham como propósito fornecer flexibilidade para o sistema e complementar a geração hidrelétrica

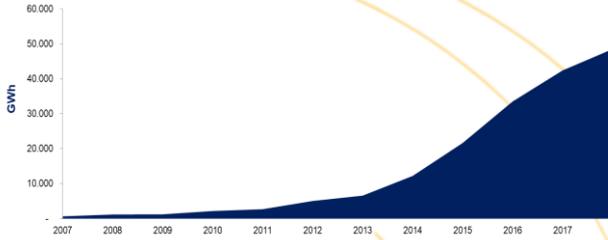
em períodos de seca, aumentando a segurança energética. Dentre as térmicas, foram priorizadas as que utilizam gás natural. Tal solução foi fomentada com base na política de desenvolvimento de mercado para o gás boliviano relacionado à construção do GASBOL<sup>2</sup> (entrada em operação do trecho Norte em 1999 e trecho Sul em 2000) e ao Programa Prioritário de Termelétricas (PPT) nos anos 2000 (EPE, 2017a). O PPT ofereceu garantias de financiamento pelo BNDES e de fornecimento de gás natural por vinte anos pela Petrobras (BRASIL, 2000; MME, 2000). Esse foi o início de um processo de diversificação da matriz elétrica para um perfil hidrotérmico no qual o gás natural evoluiu de uma participação de 1%, nos anos 2000, para o patamar de 10% da energia elétrica atualmente produzida (EPE, 2019a). Mesmo com a expansão da geração termelétrica fóssil, a fonte hidráulica hoje corresponde por cerca de dois terços da oferta interna de eletricidade. Tendo ocorrido uma mudança de uma participação predominantemente hidrelétrica entre os anos 1970 e 2000, da ordem de 90%, para uma composição em que outras fontes renováveis evoluíram de 2% para 18% da geração elétrica entre 2000 e 2018, incluindo bagaço de cana, lixo, eólica e solar (EPE, 2019a). Quanto às energias eólica e solar, dado os seus potenciais, o País criou mecanismos para promover a geração de eletricidade a partir dessas fontes<sup>3</sup>. Os principais elementos desses mecanismos são os contratos de longo prazo estabelecidos nos leilões e o financiamento do BNDES, relacionado à política.

Como consequência, de 2007 a 2018, a geração eólica cresceu mais de 7000%, conforme ilustrado no Gráfico 4, tendo contribuído para aumentar a diversidade no sistema de energia brasileiro e sendo capaz de atualmente suprir grande parte da demanda elétrica do Nordeste (ONS, 2019).

<sup>2</sup> Desde o início do seu funcionamento, o duto se provou essencial para o suprimento da demanda de gás natural no país, que vem crescendo a cada ano, garantindo o abastecimento de distribuidoras de gás, termoeletricas e refinarias.

<sup>3</sup> Em 2002, foi criado o Proinfa - Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica, com o objetivo de aumentar a participação de usinas eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e termelétricas a biomassa (BRASIL, 2002). Após o Proinfa, foram realizados

leilões específicos de energia desde 2007, que alocam participação de mercado para a contratação de energia eólica, solar e PCH.

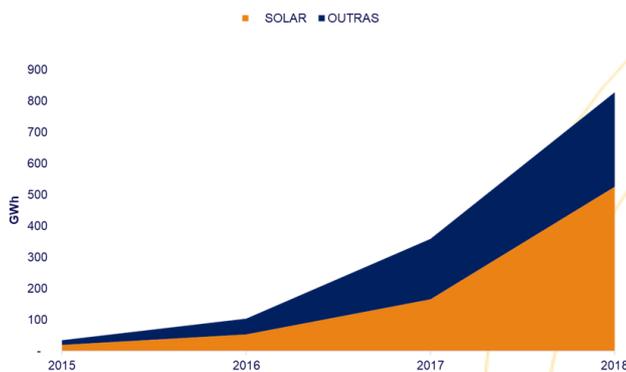


**Gráfico 4 - Evolução da geração eólica.**

Fonte: EPE (2019a)

A energia solar ainda não contribui significativamente para a geração centralizada, mas, em 2018, já começou a figurar com 1% de participação na matriz elétrica brasileira (EPE, 2019a). Além da contribuição da geração solar fotovoltaica para o SIN, há possibilidade de sua maior participação na geração distribuída, que foi regulamentada pela Resolução Normativa ANEEL 482/2012 (ANEEL, 2012). A partir deste marco legal, foram instituídas a micro e mini geração distribuída de energia elétrica (GD) que permitiram aos consumidores brasileiros gerar energia própria a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e até fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

Desde 2015, ano em que o Balanço Energético Nacional começou a contabilizar a micro e mini GD, a geração elétrica nessa modalidade cresceu mais de 2000%, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, conforme ilustrado no Gráfico 5.



**Gráfico 5 - Evolução da Micro e Mini Geração Distribuída**

Fonte: EPE (2019a)

O Brasil também se caracteriza por possuir uma das maiores reservas de urânio do mundo, com uma fatia de 5% do total (WNA, 2018). O uso da energia nuclear está presente em diversos setores da economia, como na medicina, na indústria, agricultura, meio ambiente, além do suprimento de eletricidade – que representa a principal demanda do recurso (EPE, 2018a). O desenvolvimento da energia nuclear no país tem origem no Programa Nuclear Brasileiro,

que remonta à década de 1950. No entanto, foi somente em 1985 que a primeira usina nuclear nacional entrou em operação comercial (IPEA, 2010). O parque gerador nuclear brasileiro é composto por duas usinas, Angra 1 (640 MW) e Angra 2 (1.350 MW), localizadas no estado do Rio de Janeiro. Com essas duas plantas, atualmente o urânio é responsável por 1,4% da energia disponibilizada para o País. Ao levar em consideração somente a matriz elétrica, essa fonte respondeu por 2,5% da oferta em 2018 (EPE, 2019b).

Adicionalmente, a central nuclear de Angra 3 ainda está em construção e terá capacidade instalada de 1.405 MW. Esta nova unidade será capaz de gerar mais de 12 milhões de MWh por ano. Este montante de energia seria suficiente para abastecer as cidades de Brasília e Belo Horizonte durante o mesmo período. (Eletronuclear, 2019).

### 2.3 RECURSOS FÓSSEIS

O Brasil também é reconhecido por sua abundância em recursos fósseis, em especial, nos últimos anos, do petróleo e do gás natural oriundos da gigantesca província petrolífera do Pré-sal e, mais recentemente, da bacia Sergipe-Alagoas.

A exploração de petróleo no Brasil teve início no fim da década de 1930, quando o primeiro campo foi descoberto, na Bahia. De lá para cá, houve diversos marcos na história de exploração dessa fonte, como a campanha “O Petróleo é nosso”, a criação da Petrobras, em 1953, e a descoberta de reservas na Bacia de Campos. A Petrobras deteve a exclusividade da exploração, do refino e do transporte de petróleo durante mais de quatro décadas.

Após a EC nº 9/1995 (BRASIL, 1995), ocorreu a quebra do monopólio institucional da Petrobras em 1997, através da Lei nº 9.478/97, (BRASIL, 1997) conhecida como Lei do Petróleo, que ofereceu a companhias privadas estrangeiras a oportunidade de participar da exploração dessa matéria-prima no Brasil. A nova legislação também autorizou a criação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, responsável por fiscalizar o funcionamento dessa atividade industrial.

O primeiro leilão ocorreu, de fato, em 1999, e uma série de empresas internacionais e a Petrobras arremataram áreas de exploração. Esse modelo vigorou até a descoberta do Pré-sal, quando o governo federal reavaliou o marco regulatório da exploração. Foi adotado então o regime de partilha para o Pré-sal e outras áreas estratégicas. Nesse regime, a União detém parte da produção de petróleo e a Petrobras se tornou operadora única, com participação mínima de

30% em todos os blocos. Posteriormente, flexibilizou-se a operação única da Petrobras, mantendo-se a opção prioritária da empresa escolher a área que fará a operação (ANP, 2019; Petrobras, 2019).

No segmento *downstream*, o Brasil é o 7º mercado consumidor de derivados de petróleo no mundo, em especial de combustíveis líquidos, dado o setor de transportes ser responsável por 32,7% do consumo final energético no país (EPE, 2019b).

Neste contexto, ressalta-se que o petróleo nunca deixou de ser representativo na matriz energética brasileira, chegando a responder por mais de 50% dela. Em 2018, a sua participação na matriz, conjuntamente com a dos seus derivados, atingiu 34,4% (idem).

Nos próximos anos, estima-se que o Brasil apresente tendência de aumento da demanda por petróleo e seus derivados, embora haja o crescimento do consumo dos biocombustíveis e do gás natural, o que ainda corresponderá a uma participação significativa do petróleo na matriz energética nacional. Por este motivo, projeta-se que o Brasil se tornará um grande exportador de petróleo no mercado internacional (EPE, 2019d)

Quanto ao gás natural, trata-se de um combustível proveniente das frações mais leves do petróleo, a história de exploração dessa fonte pode ser correlacionada à do óleo bruto. Em 2018 sua disponibilidade alcançou o patamar próximo de 36 milhões de tep, ou 12,5% da oferta interna de energia (EPE, 2019b).

Dada a relevância dessa fonte tanto para geração de eletricidade quanto para consumo nas indústrias, residências e veículos, algumas iniciativas específicas têm sido adotadas, como o programa “Novo Mercado de Gás”, lançado em 2019. O seu objetivo é propor medidas para aprimorar a regulamentação do setor de gás e atrair investimentos, diante de um cenário de redução de participação da Petrobras (MME, 2019).

Outro combustível fóssil inserido na matriz brasileira é o carvão mineral, encontrado em áreas restritas e limitadas (em sua totalidade

na região Sul do país). Esse minério extraído no Brasil não possui alta qualidade e possui viabilidade reduzida para utilização na indústria siderúrgica, como matéria prima e recurso energético. Assim, grande parte do carvão mineral utilizado na indústria é importado. Como consequência, a maior fração da produção nacional é destinada às usinas termelétricas. Em 2018, essa fonte representou 5,8% da oferta interna de energia do País (EPE, 2019b).

## 2.4 DEMANDA ENERGÉTICA

Além da oferta, é importante destacar ações pelo lado da demanda. Em particular, o uso eficiente da energia que pode ser uma das estratégias mais eficazes para se atender à demanda energética. Evitar o desperdício e conseguir realizar mais serviços energéticos com a mesma quantidade de energia resulta em diversos benefícios para a sociedade. Neste sentido, o Brasil possui programas governamentais para eficiência energética desde 1984, que contribuíram para moldar a matriz energética brasileira atual. Entre os programas de destaque estão: o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o PROCEL e o CONPET, o Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL, entre outros. A Figura 1 apresenta a linha do tempo com os principais marcos acerca deste tema no Brasil.

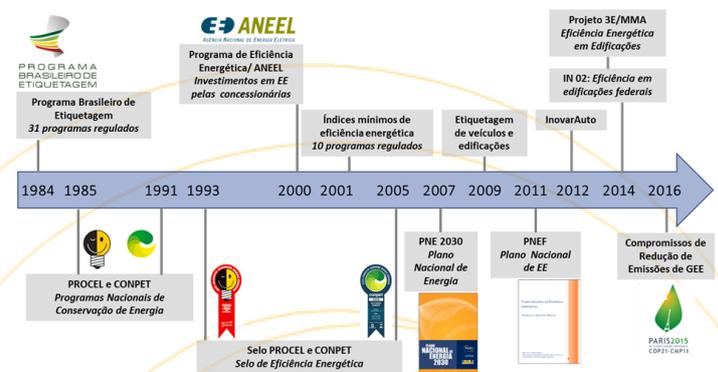


Figura 1 - Linha do tempo com principais programas de eficiência energética no Brasil

Fonte: EPE (2017b)

## 3. PERSPECTIVAS E INDICADORES

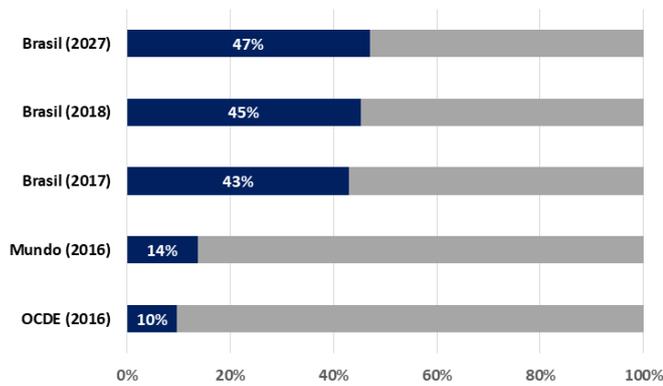
Nos últimos 20 anos, a participação das renováveis na matriz energética manteve-se elevada com valores próximos ou superiores a 40%, o que faz do Brasil um dos países líderes em energias renováveis no mundo. Conforme pode ser visto no Gráfico 6, a matriz energética mundial em 2016 é composta por 14% de fontes renováveis de energia. Em relação à matriz energética dos países que compõem a OCDE, a situação é ainda

mais discrepante, pois, em 2016, as fontes renováveis somaram apenas 10% da matriz energética.

Estima-se que, até 2027, a oferta interna de energia no Brasil se aproxime de 370 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), o que representa um acréscimo de 27% em relação a 2018. As energias renováveis respondem por 55% deste acréscimo, devido, principalmente, à expansão da cadeia de produtos da

cana-de-açúcar, da cadeia de biodiesel e da geração eólica e solar. Assim, espera-se que a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira atinja o patamar de 47% em 2027 (EPE, 2018b).

**Gráfico 6 – Participação de renováveis na matriz energética**



Fonte: EPE (2018b), EPE (2019a) e IEA (2018)

A trajetória de projeção passa por 2025, ano para o qual o Brasil assumiu o compromisso, no Acordo de Paris, que as suas emissões totais sejam 37% inferiores às emissões do ano-base 2005. Para o setor de energia, foram apresentadas medidas com base em indicadores extraídos da matriz energética consolidada (EPE, 2016b). O Brasil vem caminhando em direção ao cumprimento destas medidas. Indicadores baseados na trajetória da matriz energética do PDE 2027 mostram-se superiores aos sugeridos na NDC<sup>4</sup>, em especial quanto à participação de fontes renováveis (exclusive hídrica), para a qual se projeta uma participação de 34%, participação de bioenergia (produtos da cana e biodiesel) estimada em 21% e participação total de energia renovável de 48% (EPE, 2018b), conforme apresentado na Tabela 1.

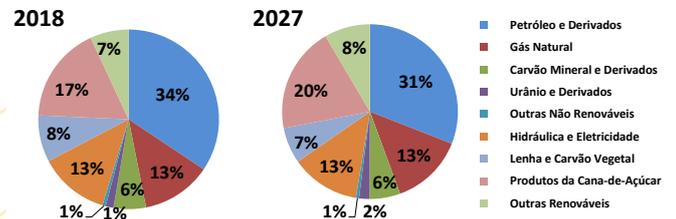
**Tabela 1 – Monitoramento das medidas NDC através da matriz energética**

| INDICADORES                  |   | NDC                | PDE 2027 |
|------------------------------|---|--------------------|----------|
|                              |   | PARA O ANO DE 2025 |          |
| <b>Eficiência energética</b> | eletricidade  | 8%                 | 7%       |
| <b>Energia elétrica</b>      | participação de eólica, solar e biomassa, incluindo GD e autoprodução | 22%                | 22%      |
|                              | participação da hidroeletricidade na geração centralizada             | 71%                | 73%      |
| <b>Matriz energética</b>     | participação de fontes renováveis, com exceção da hídrica             | 32%                | 34%      |
|                              | participação de bioenergia  | 18%                | 21%      |
|                              | participação total de fontes renováveis                               | 45%                | 48%      |

Fonte: EPE (2018b)

A composição da oferta interna de energia esperada para 2027, quando comparada com a composição atual, tem como principais destaques a redução da participação do petróleo e seus derivados, de 34% para 31%, e o aumento das fontes renováveis em geral (Gráfico 7). A substituição de gasolina por etanol e as expansões das fontes eólica e solar estão entre os principais fatores responsáveis pela transição esperada neste horizonte.

**Gráfico 7 – Evolução da composição da oferta interna de energia**



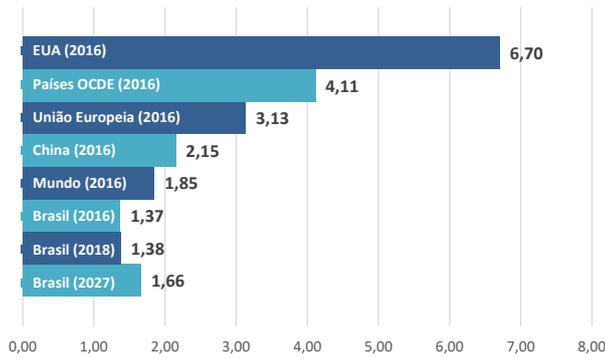
Fonte: EPE (2018b)

Quando comparada à média mundial e aos seus principais países, a oferta interna de energia *per capita* mostra que existe um grande desafio de elevar a disponibilidade de energia por habitante no Brasil. Estima-se um aumento de 1,38 tep/hab, em 2018, para 1,66 tep/hab, em 2027, ainda inferior à média mundial de 1,85 tep/hab, em 2016 (Gráfico 8).

<sup>4</sup> Sigla em inglês que significa Contribuição Nacionalmente Determinada. A NDC é o principal instrumento de comunicação dos compromissos individuais assumidos

pelos Partes no Acordo de Paris sob a UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima) (MRE, 2015).

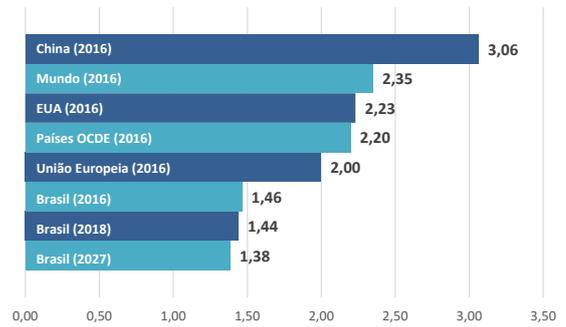
**Gráfico 8 – Oferta interna de energia per capita (tep/hab)**



Fonte: EPE (2018b), EPE (2019a), IBGE (2019) e IEA (2018)

Com esta alta parcela de fontes limpas, em 2018, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 416 MtCO<sub>2</sub>. O setor de transportes foi o principal emissor, respondendo por 46% do total aferido. O Gráfico 9 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> em função da oferta interna de energia, onde o Brasil apresenta tendência de redução até 2027. Este indicador, quando comparado com os principais países do mundo, ressalta a baixa intensidade de emissões da matriz energética brasileira e, ainda assim, estão sendo empreendidos esforços para reduzir ainda mais essa intensidade.

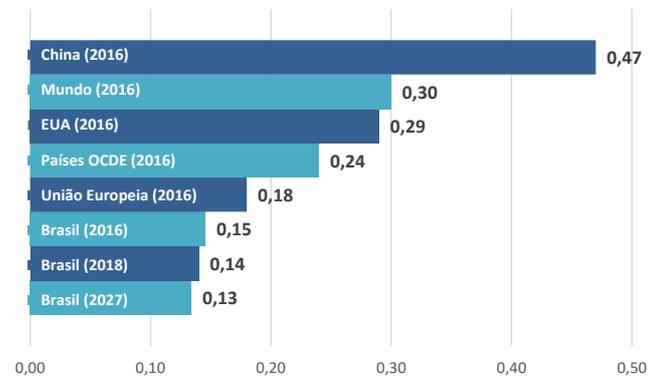
**Gráfico 9 – Intensidade de emissões na oferta interna de energia (t.CO<sub>2</sub>/tep)**



Fonte: EPE (2018b), EPE (2019a) e IEA (2018)

Da mesma forma que a intensidade de emissões na oferta interna de energia, a intensidade de emissões na economia brasileira apresentou-se bastante inferior à média mundial, em 2018, e também apresenta tendência de redução até 2027 (Gráfico 10). Em outras palavras, além da perspectiva de redução da intensidade energética na economia, o uso cada vez maior de energias renováveis contribuirá para a redução das emissões relativas ao Produto Interno Bruto brasileiro.

**Gráfico 10 – Intensidade de emissões na economia (kg.CO<sub>2</sub>/USD PPP [2010])**



Fonte: EPE (2018b), EPE (2019a) e IEA (2018)

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil possui numerosos recursos naturais para serem utilizados como fontes energéticas. Esta característica possibilita a diversificação da oferta e dos usos desses recursos, de forma que garanta a elevada renovabilidade da sua matriz, respeitando critérios de competitividade e confiabilidade. Dada esta vocação natural, foi possível observar ao longo dos anos uma transição energética com forte participação renovável para o atendimento à demanda por combustíveis e eletricidade.

A manutenção da elevada participação de fontes renováveis na matriz nacional é um desafio para o Brasil. Este desafio representa uma expansão significativa da capacidade instalada de usinas eólicas, solares, termelétricas a biomassa e a construção de novas hidrelétricas, além de ampliação da produção e do consumo de biocombustíveis líquidos, como etanol e biodiesel, e de investimentos em eficiência energética.

As políticas públicas de incentivo aos biocombustíveis, como a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e as possíveis modernizações do setor elétrico para se adequar aos novos requisitos relacionados às fontes de geração variáveis, foram e serão formas de expandir as fontes renováveis e de flexibilizar nossa matriz (EPE, 2018c). Assim, pretende-se que o perfil resultante desta expansão seja ainda mais eficiente e propicie ao país energia em quantidade e qualidade suficientes para subsidiar seu crescimento.

Sendo assim, entre as diversas trajetórias possíveis na esfera de privilegiar o crescimento das fontes renováveis no consumo e geração de energia, a decisão do Brasil de qual trajetória seguir

deverá ser ancorada em uma série de estudos técnicos e estruturais. Estes estudos servirão de base para a qualificação e quantificação dos objetivos, que são desafiadores, porém factíveis, e deverão retratar o compromisso do Brasil na contribuição para o desenvolvimento sustentável e combate às mudanças climáticas.

Neste contexto, é interessante observar que as estratégias naturais de expansão da oferta – como a penetração de renováveis e a ampliação da representatividade de fontes renováveis nos setores industrial e de transportes, por exemplo – fazem sentido econômico para o país.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, (2012). Resolução Normativa nº482. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)
- 2) ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS, (2019). *Os regimes de concessão e de partilha*. Disponível em: <http://rodadas.anp.gov.br/pt/entenda-as-rodadas/os-regimes-de-concessao-e-de-partilha>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- 3) BRASIL (1995). Emenda Constitucional nº 9, de 09 de novembro de 1995. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 nov. 1995.
- 4) \_\_\_\_\_. (1997). Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 ago. 1997.
- 5) \_\_\_\_\_. (2000). Decreto nº 3.371, de 24 de fevereiro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 fev. 2000.
- 6) \_\_\_\_\_. (2002). Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 abr. 2002.
- 7) \_\_\_\_\_. (2004). *Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004*. Brasília: Diário Oficial da União.
- 8) \_\_\_\_\_. (2005). Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Brasília: Diário Oficial da União.
- 9) \_\_\_\_\_. (2014). *Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014*. Brasília: Diário Oficial da União.
- 10) \_\_\_\_\_. (2016). *Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional*. Brasília, Diário Oficial da União.
- 11) \_\_\_\_\_. (2017). *Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017*. Brasília: Diário Oficial da União.
- 12) CNPE. (2018). Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Conselho Nacional de Política Energética. Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em: [www.mme.gov.br/documents/10584/71068545/Resolucao\\_16\\_CNPE\\_29-10-18.pdf/](http://www.mme.gov.br/documents/10584/71068545/Resolucao_16_CNPE_29-10-18.pdf/).
- 13) Eletronuclear, (2019). *Angra 3*. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>. Acesso em 23 ago. 2019.
- 14) EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2012). *Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte: 1970-2010*. NOTA TÉCNICA SDB-Abast Nº 1/2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>.
- 15) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2015). *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2014*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br).
- 16) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2016a). *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2015*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- 17) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2016b). *O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia*. Nota Técnica – COP21. Junho. 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-cop21>.
- 18) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2017a). *Panorama da Indústria de Gás Natural na Bolívia*. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br).

- 19) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2017b). *Monitorando o Progresso da Eficiência Energética no Brasil – Indicadores e Análises Setoriais*. NOTA TÉCNICA DEA 025/2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>.
- 20) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018a). *Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050*. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>.
- 21) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018b). *Plano decenal de Expansão de Energia (PDE 2027)*. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>.
- 22) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018c). *Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento*. Nota Técnica EPE-DEE-NT-067/2018-r0. Agosto. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-flexibilidade-e-capacidade-conceitos-para-a-incorporacao-de-atributos-ao-planejamento>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- 23) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019a). *Séries Históricas do Balanço Energético Nacional*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 09 ago. 2019.
- 24) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019b). *Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2019*. Ano Base 2018. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- 25) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019c). *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2018*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- 26) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019d). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 – PDE 2027*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- 27) HENRIQUES, R.M.; COSTA, A.O.; MACHADO, G.V.; COELHO, J.M.F; (2018) *Análise da Inserção do Biogás da cana-de-açúcar na Matriz Energética Nacional*. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- 28) IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2019). *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 09 ago. 2019.
- 29) IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, (2018). *Key World Energy Statistics 2018*. Paris: OECD/IEA, 2018. 51 p. Disponível em: <https://webstore.iea.org>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- 30) IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, (2010). *O Programa Nuclear Brasileiro*. Boletim de Economia e Política Internacional, Número 3, jul. 2010. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/boletim\\_internacional/100709\\_boletim\\_internacional03\\_cap8.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/boletim_internacional/100709_boletim_internacional03_cap8.pdf). Acesso em: 27 ago. 2018.
- 31) MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, (2015). *Cronologia da Mistura Carburante Etanol Anidro - Gasolina no Brasil*. Secretaria de Produção e Agroenergia, Departamento da Cana-de-Açúcar e Agroenergia. Brasília. 11/03/2015. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agro-energia/orientacoes-tecnicas>. Acesso em: 23 ago. 2019.
- 32) MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, (2000). Portaria nº 43, de 25 de fevereiro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 fev. 2000.
- 33) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019). *Novo Mercado de Gás*. <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/-novo-mercado-de-gas-bento-albuquerque-leva-ao-congresso-nacional-as-novas-e-promissoras-perspectivas-propostas-para-o-gas-no-brasil](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/-novo-mercado-de-gas-bento-albuquerque-leva-ao-congresso-nacional-as-novas-e-promissoras-perspectivas-propostas-para-o-gas-no-brasil)>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- 34) MRE. MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, ([2015?]). *Mudança do Clima*. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/712-mudanca-no-clima>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- 35) ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico (2019). *Geração eólica bate novo recorde no Nordeste*. Disponível em: [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)
- 36) Petrobras. (2019). *Pré-Sal*. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- 37) WNA. WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2018). *Supply of Uranium*. Information Library, Nuclear Fuel Cycle, Uranium Resources. Table 2: Uranium resources by country in 2017. Disponível em: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>. Acesso em: 27 ago. 2019.



Empresa de Pesquisa Energética

# MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

ARTIGO EXTERNO – 10 DE SETEMBRO DE 2019

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis & Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

URL: <http://www.epe.gov.br/>

Escritório Central: Av. Rio Branco, nº 1 - 11º Andar - CEP 20.090-003 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo contextualizar os principais aspectos da evolução energética mundial no âmbito do evento “Ciclo de Debates para Transição Energética”, organizado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O mundo tem convergido para a construção de um sistema energético baseado em pilares como o acesso universal, a confiabilidade, a sustentabilidade e a modernização do suprimento. A transição energética caracteriza-se pela existência de diversas trajetórias possíveis, que se configuram conforme a adoção de novas políticas em cada país. Essa transição é acompanhada de mudanças nos paradigmas de desenvolvimento, de organização das sociedades e por inovações tecnológicas que requerem novas abordagens sobre as formas de produção e consumo de energia no mundo.

Em setembro de 2015, os países membros das Nações Unidas adotaram a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 2015). A Agenda 2030 é um plano de ação que indica 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta. Trata-se de uma convocação para os países desenvolvidos e em desenvolvimento agirem em torno desse que foi considerado o maior desafio global e requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável. Isso requer medidas aliadas às estratégias para melhorar a saúde e a educação, reduzir a desigualdade e estimular o crescimento econômico, combater as mudanças climáticas e promover a preservação de oceanos e florestas (UNDESA, 2018a, PLATAFORMA AGENDA 2030, 2016).

Junto aos objetivos para o desenvolvimento sustentável, as mudanças climáticas associadas às emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) constituem-se em uma das principais questões a serem enfrentadas na atualidade. Assumindo-se que as mudanças climáticas já estão em curso e podem se agravar, conforme afirma o IPCC (2013), os países devem concentrar esforços de mitigação e de adaptação.

Em dezembro de 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês) foi firmado o Acordo de Paris. Governos de 196 países se reuniram para buscar um novo acordo sobre a mudança global do clima, estruturado com base em compromissos individuais informados por meio de suas pretendidas contribuições nacionalmente determinadas (iNDC<sup>1</sup>), válidos para o período pós 2020. Os compromissos contêm as ações de cada país para reduzir suas emissões de gases do efeito estufa (GEE) e também podem conter outras indicações, como as ações de adaptação às mudanças climáticas e considerações sobre meios de implementação, inclusive financiamento (EPE, 2016, 2018a, 2018b).

Nesse panorama de desenvolvimento das economias mundiais integrado às dimensões sociais e ambientais, diversos esforços de investigação e elaboração de políticas públicas locais buscam relacionar evolução populacional, crescimento e desigualdade econômica com o consumo de

## EQUIPE TÉCNICA

### Coordenação Geral

Giovani Vitória Machado  
José Mauro Ferreira Coelho

### Coordenação Executiva

Angela Oliveira da Costa  
Carla da Costa Lopes Achão

### Coordenação Técnica

Gláucio V.R. Faria  
Marcelo C. B. Cavalcanti

### Equipe Técnica

Bianca Nunes de Oliveira  
Felipe Klein Soares  
Patrícia F. B. Stelling  
Rachel Martins Henriques

<sup>1</sup> A iNDC (sigla em inglês para *intended Nationally Determined Contribution*) é convertida automaticamente em NDC (*Nationally Determined Contribution*) assim que o país ratifica o acordo, com isso as metas deixam de ser pretendidas e tornam-se compromissos oficiais. A iNDC brasileira foi apresentada ao Secretariado da UNFCCC em setembro de 2015, e ratificada após a aprovação pelo Congresso Nacional, em setembro de 2016 (BRASIL, 2015, EPE, 2016, 2018a).

energia e emissões em países desenvolvidos e em desenvolvimento (KAREKESI *et al.*, 2012, IIASA, 2014, SOVACOOOL, 2014, GOOZEE, 2017, UiO, 2018, UN ESCAP, 2019, EPOV, 2019, GALVIN, 2019). Entretanto, algumas lacunas são observadas entre as medidas anunciadas e aquelas necessárias para uma efetiva consecução de objetivos relacionados ao desenvolvimento sustentável e às mudanças do clima. Sendo assim, nenhuma trajetória de futuro é pré-determinada, e as ações seguidas pelos governos serão decisivas na construção dos caminhos a serem percorridos.

## I. EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

De 1973 a 2016, a despeito das diversas mudanças ocorridas no mundo, a oferta de energia primária manteve-se majoritariamente fóssil, com destaque para o petróleo, carvão mineral e gás natural. Embora a participação do petróleo tenha recuado de 46% para 32%, o carvão mineral e o gás natural apresentaram crescimento e conjuntamente ainda representam a maior parcela da energia disponibilizada no mundo (IEA, 2018a). Em 2016, estas fontes representaram 80% da oferta de energia global, conforme Gráficos 1 e 2.

Ressalta-se neste período, o crescimento da fonte nuclear além da introdução de biocombustíveis e outras renováveis.

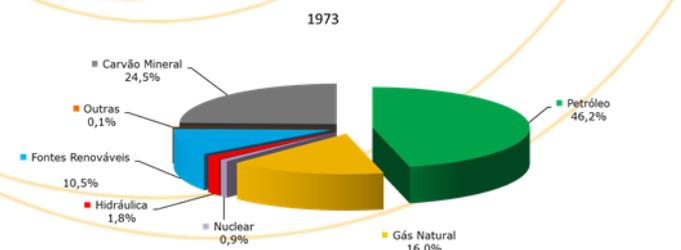


Gráfico 1 - Oferta de Energia Primária no mundo em 1973, por fonte  
Fonte: IEA (2018a)

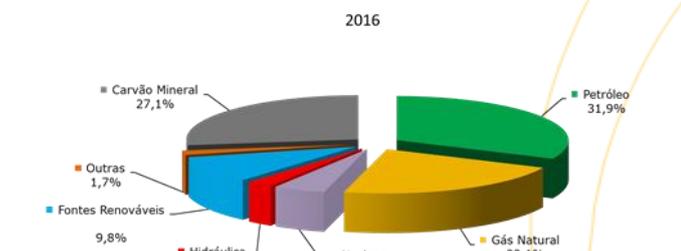


Gráfico 2 - Oferta de Energia Primária no mundo em 2016, por fonte  
Fonte: IEA (2018a)

A predominância do petróleo na matriz mundial está relacionada à disponibilidade de grandes volumes e, seus derivados, notadamente combustíveis, têm uma participação muito importante no consumo final, representando 41% da demanda total por energia (IEA, 2018a). Como pode ser observado no Gráfico 3, em 2016, o setor de

transportes representou 65% desta demanda, contra 45% de participação em 1973. Já as indústrias vêm diminuindo o uso de derivados. No início do período em análise, o setor era responsável por 20% do consumo, enquanto em 2016 este valor reduziu-se para apenas 8%. Outro destaque é o uso não energético dos derivados de petróleo, cuja participação no consumo final aumentou de 11% para 17% no mesmo período.

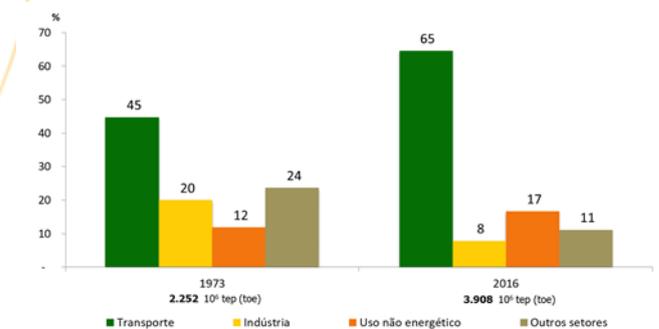


Gráfico 3 - Consumo final de derivados de petróleo, 1973-2016  
Fonte: IEA (2018a)

Destaca-se que a matriz energética mundial registrou apenas 14% de fontes renováveis em seu mix energético. Para fins de comparação, o Brasil apresentou um percentual de renovabilidade de sua matriz energética de 45% em 2018, de acordo com Gráfico 4.

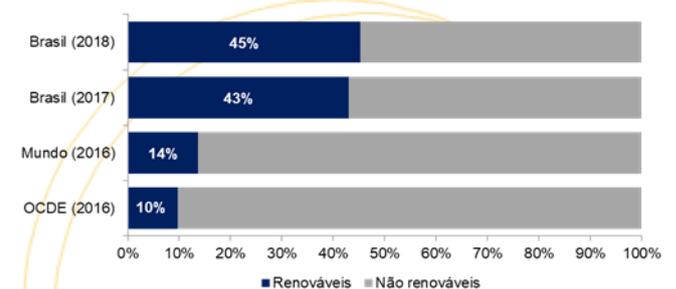


Gráfico 4 - Participação de renováveis na matriz energética  
Fonte: EPE (2019)

Em especial, na matriz elétrica mundial, o carvão mineral permanece como a principal fonte geradora, representando 38%, conforme Gráfico 5. A geração a gás natural e nuclear obtiveram aumento expressivo de participação na matriz, passando de 12% para 23% e de 3% para 10%, respectivamente, considerando o

mesmo período de análise. Neste caso, o petróleo, na forma de derivados, apresentou queda expressiva em sua participação.

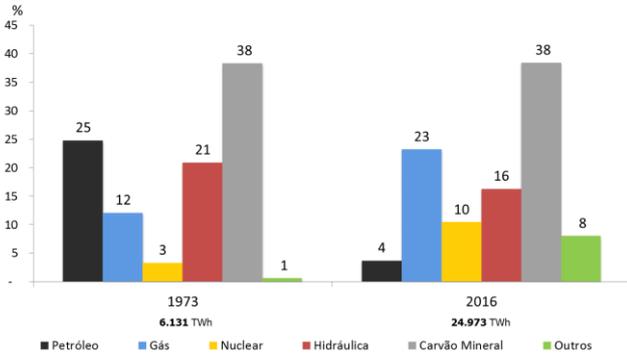


Gráfico 5 - Produção Mundial de Energia Elétrica por Fonte  
Fonte: IEA (2018a)

O uso de energia representa mais de 70% das emissões globais (WRI, 2019), o que evidencia a relação entre consumo energético e emissões. Atualmente, a eficiência energética é fundamental para o atendimento da demanda de energia, segurança energética e o combate às mudanças climáticas. A evolução tecnológica e os costumes da sociedade são parte relevante da utilização mais eficiente das fontes de energia.

Neste contexto de atenção às mudanças do clima, em 2016, as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à matriz energética global atingiram 32 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, o que representou um crescimento de 1,7% ao ano em relação a 1973. Individualmente, o maior emissor é a China, que é responsável por 28% do total de lançamento de gases na atmosfera (IEA, 2018a).

## II. PERSPECTIVAS

O sétimo objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS 7) visa, até 2030: i) assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia; ii) aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética mundial, e iii) dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética. Além disso, nesse horizonte pretende reforçar a cooperação internacional em pesquisas e investimentos em tecnologias avançadas de combustíveis fósseis, energias renováveis e eficiência energética. (UNDP, 2017, NAÇÕES UNIDAS BRASIL, [s.d.])

Essas proposições no setor de energia têm relação estreita com os esforços necessários para redução de intensidade de carbono nas economias mundiais. Ou seja, a energia tem um papel fundamental para a consecução da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável e do Acordo de Paris (GEA, 2012, UNDESA, 2018b, TWI2050, 2018, SACHS *et al.*, 2019). Em 2018, um fórum político de alto nível das Nações Unidas revisou o progresso do ODS 7 e suas interligações com os demais objetivos do desenvolvimento sustentável (UNDESA, 2018c). Segundo os resumos elaborados por dezenas de organizações especialistas, aproximadamente 1 bilhão de pessoas no mundo não têm acesso à eletricidade e cerca de 3 bilhões às fontes limpas para cocção e são expostas a níveis de poluição que resultam em milhões de mortes todos os anos, na maioria mulheres e crianças<sup>2</sup>. O fórum alertou que existe urgência nas ações para a acelerar o atingimento do ODS 7, da qual poderão se beneficiar bilhões de pessoas, através de avanços tecnológicos,

novas oportunidades econômicas e de emprego, melhores condições de educação e saúde, comunidades mais sustentáveis e maior proteção e resiliência às mudanças climáticas (ZHENMIN, 2018).

Diversas instituições internacionais realizam estudos de perspectivas para os sistemas energéticos mundiais (IEA, 2018b, IRENA, 2018, EIA, 2018, 2019, BP, 2019, EQUINOR, 2019, EXXONMOBIL, 2019, SHELL, 2013, 2018, OPEC, 2018). São visões de mundo que exploram possíveis trajetórias futuras para o consumo e a oferta de energia, e suas conseqüentes contribuições para a mudança do clima e o desenvolvimento econômico.

No cenário de novas políticas da Agência Internacional de Energia (IEA, 2018b), que considera as políticas e metas já anunciadas pelos países, o aumento de 1,7 bilhão de pessoas na população mundial, majoritariamente nas áreas urbanas de países em desenvolvimento, eleva a demanda mundial de energia em mais de 25% entre 2014 e 2017, atingindo 18 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo. Nos anos 2000, mais de 40% da demanda global de energia se concentrava na Europa e América do Norte, e 20% nas economias em desenvolvimento da Ásia. Em 2040, espera-se que essa situação seja completamente revertida.

A composição setorial do consumo de energia mundial mantém-se concentrada na indústria, nos transportes e nas edificações. Tendo cada um desses setores uma participação de aproximadamente 30%, conforme ilustra o Gráfico 6.

<sup>2</sup> A população mundial é estimada em 7,7 bilhões de pessoas (UNDESA, 2019).

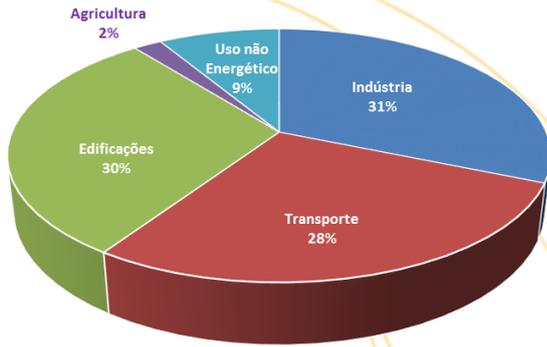


Gráfico 6 - Consumo Final por Setor em 2040, cenário de Novas Políticas

Fonte: IEA (2018b)

A participação das fontes fósseis na demanda mundial se reduz de 81% para 74% entre 2017 e 2040, concentrada em petróleo (28%), gás natural (25%) e carvão (22%). Sendo que nesse horizonte, o petróleo e o carvão perdem participação em contraposição ao avanço do gás natural. A expectativa de redução da demanda por ações de eficiência energética é de 8% em relação ao cenário que não considera mudanças nas políticas atuais (IEA, 2018b).

Nesse cenário, entre 2017 e 2040, a geração global de eletricidade deverá aumentar em 60%, atingindo o patamar de 40 mil TWh. A composição da geração elétrica ainda será predominantemente de origem fóssil, conforme exibido no Gráfico 7. Porém, as fontes renováveis devem avançar, aumentando sua participação de 15%, em 2017, para 40% em 2040. O carvão faz o movimento contrário, reduzindo de 40% para 15% neste mesmo período. A geração a gás natural e nuclear se mantêm em 20% e 10%, respectivamente. As hidrelétricas continuam como a principal de fonte de eletricidade de baixa emissão, com 15% da geração em 2040. Eólica e solar lideram as fontes emergentes. Contudo, a sua evolução dependerá do nível de ambição das políticas energéticas e inovação tecnológica de cada país, o que determinará em grande parte a trajetória das emissões do setor de energia (IEA, 2018b).

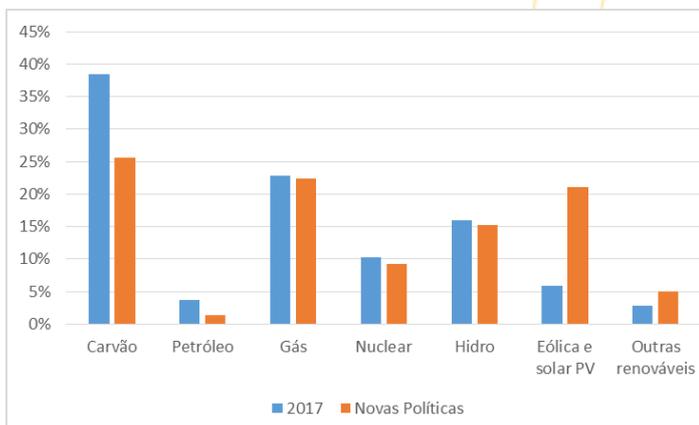


Gráfico 7 – Composição da Matriz Elétrica Mundial

Fonte: IEA (2018b)

Ainda no cenário de novas políticas da Agência Internacional de Energia, a produção de petróleo e gás natural aumenta mais de 20% até 2040. Os Estados Unidos (EUA), que se tornaram o maior produtor mundial de óleo e gás em 2015, continuam seu crescimento elevado. Da sua posição de importador líquido de petróleo, em 2017, os EUA passam a exportadores líquidos em 2040, graças à crescente produção de *tight oil*. A China se torna o maior importador de petróleo no mundo e triplica as suas necessidades de importação de gás natural, esse último impulsionado pelos esforços de melhorar a qualidade do ar. A Rússia se mantém como o maior exportador deste energético, seguido pelo Oriente Médio e os EUA. O gás natural liquefeito (GNL) responde pela maior parte desse comércio internacional de gás, cujo volume mais que dobra entre 2017 e 2040 (IEA, 2018b).

As mudanças nas formas de oferta, demanda e as tendências tecnológicas alteram os fluxos dos comércios internacionais de energia, crescentemente direcionados do Oriente Médio, Rússia, Canadá, Brasil e EUA para a Ásia. Localmente, também se desenvolvem novas formas de provimento de energia na medida em que a digitalização e as tecnologias de energias renováveis permitem o atendimento distribuído, bem como ações pelo lado da demanda.

Energias renováveis economicamente viáveis, aplicações digitais e eletrificação têm sido considerados importantes vetores da transição energética, com papel central nas perspectivas para o atingimento de vários dos objetivos mundiais para o desenvolvimento sustentável (IEA, 2018b). Nesse contexto de transição global, as políticas energéticas mundiais têm sido orientadas para viabilizar soluções tecnológicas e de mercado que garantam o suprimento de energia confiável, sustentável e moderno para todos. Por exemplo, a energia eólica e a solar fotovoltaica se apresentam como fontes de eletricidade acessíveis e de baixa emissão, na medida em que os respectivos custos de geração continuam reduzindo. No entanto, elas exigem requisitos adicionais para a operação confiável dos sistemas elétricos de cada país. O crescente comércio internacional de GNL configura um mercado global de gás natural mais interconectado, com maior competição entre os fornecedores (IEA, 2018b, UNDESA, 2018c, EPE/BMWi, 2017, EPE, 2018c, 2018d, IGU, 2019).

A eletricidade é cada vez mais a fonte de energia escolhida por economias baseadas em segmentos industriais menos energointensivos, serviços e tecnologias digitais. A sua participação

no consumo final mundial é de aproximadamente 20%, com perspectivas de crescimento (IEA, 2018b). Pelo lado da oferta, as políticas de incentivo e a redução dos custos provocam um acelerado crescimento das fontes de geração renováveis variáveis. Isso adiciona vantagem aos esforços do setor elétrico para redução de emissões de GEE, mas, por outro lado, requer alterações na operação dos sistemas elétricos de modo a garantir a segurança do suprimento. Pelo lado da demanda, a eficiência energética contribui para as metas de segurança energética e sustentabilidade.

Apesar da rápida expansão das renováveis, há pouco progresso na integração dessas fontes com as aplicações de usos finais em edificações, na indústria e nos transportes. Avanços em eficiência energética e os investimentos em energia também estão aquém das metas globais (UNDESA, 2018c).

Os esforços mundiais ainda insuficientes para atingir os objetivos do Acordo de Paris e a necessidade de medidas mais ousadas para o desenvolvimento sustentável se refletem nos cenários da Agência Internacional de Energia, nos quais as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam 10% no período de 2017 a 2040, considerando-se apenas as medidas já anunciadas pelos países. O Gráfico 8 mostra a perspectiva de distribuição das emissões de CO<sub>2</sub> por região em 2040.

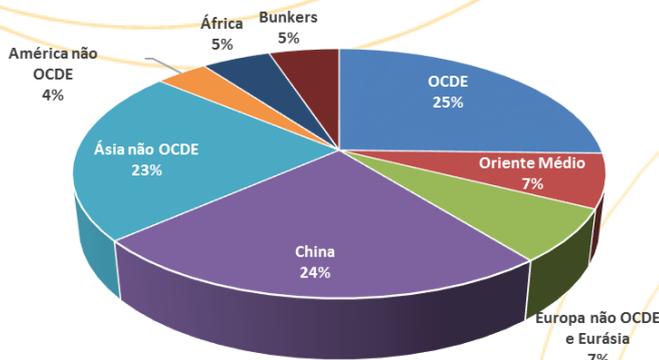


Gráfico 8 - Perspectivas para Emissões por Região em 2040  
Fonte: IEA (2018b)

A revolução digital está no discurso público em muitos países, incluindo tecnologias como realidade virtual e aumentada, impressão 3D, dispositivos inteligentes, Internet das Coisas (IoT, na sigla em inglês), entre outras. No contexto de transição energética, a velocidade dessa mudança pode ser percebida ao se observar que os aspectos da digitalização não tiveram relevância na Agenda 2030 ou no Acordo de Paris, entretanto, as mudanças digitais têm se tornado uma força motriz essencial na transformação da sociedade (TWI2050, 2019).

As tecnologias digitais têm potencial para tornar os sistemas de energia mais conectados, inteligentes, eficientes, confiáveis e sustentáveis. Avanços em dados, análises e conectividade estão permitindo uma variedade de novas soluções. Os sistemas digitalizados poderão otimizar fluxos de energia entre pontos de demanda e oferta, elevar o potencial de eficiência energética nas indústrias e edificações, facilitar a atuação de recursos energéticos distribuídos e o gerenciamento da demanda. A conectividade e a eletrificação já estão modificando os paradigmas de mobilidade urbana. Drones e robôs podem operar na manutenção de dutos, linhas de transmissão, instalações *offshore* ou de difícil acesso. Sistemas de informações geográficas, sensores, análise de dados meteorológicos podem facilitar a exploração de óleo e gás, melhorar as medições de insolação e ventos, entre outras vantagens para o aproveitamento de recursos naturais. O maior potencial de transformação da digitalização é a sua capacidade de quebrar fronteiras entre os setores de energia, aumentando a flexibilidade e permitindo a integração dos sistemas. São imprevisíveis os impactos potenciais da digitalização no setor energético. De acordo com a Agência Internacional de Energia, todos os segmentos de consumo já sentem esses efeitos, e para os produtores de energia são esperados benefícios em segurança, aumento da produtividade e redução dos custos nas indústrias de óleo e gás, carvão e eletricidade. Contudo, as transformações advindas da digitalização são acentuadas no setor elétrico, onde se modifica a relação entre geração e consumo, permitindo oportunidades inter-relacionadas, como por exemplo, a resposta inteligente à demanda, a integração de fontes variáveis de energia renovável, a implementação de carregamento inteligente para veículos elétricos, a geração distribuída, a ação de prosumidores, agregadores de demanda e usinas virtuais. Por outro lado, a digitalização pode aumentar os riscos de segurança, tanto em termos de vulnerabilidade da rede a ataques cibernéticos como a respeito da privacidade e propriedade de dados para os consumidores. Também requer adaptações regulatórias, pois altera lógicas de mercados e modelos de negócio, e de investimentos nos setores energéticos, que são tradicionalmente baseados em ativos físicos de grande porte e elevada vida útil (IEA, 2017, 2018b).

Apoiada pelas tecnologias digitais, a economia do compartilhamento oferece oportunidades no setor de transportes e elétrico, impactando o consumo e as formas de oferta e comercialização de energia no mundo. São exemplos dessas inovações, os aplicativos que conectam passageiros a motoristas, o

sistema de compartilhamento de veículos por aluguel (conhecido pelo termo *car sharing*, em inglês). E ainda, a geração compartilhada de energia, que permite que uma usina de maior porte distribua créditos de energia para diversos proprietários, proporcionalmente às suas participações no investimento. Essa possibilidade já existe no Brasil através do modelo de micro e minigeração regulamentado pela REN 482/2012 (ANEEL, 2012).

A digitalização e a eletrificação oferecem oportunidades e desafios que deverão ser acoplados aos objetivos para a sustentabilidade e adaptação às mudanças do clima. Ao mesmo tempo, essas transformações já estão alterando as sociedades e economias globais e, portanto, mudarão a interpretação do próprio paradigma da sustentabilidade. Não são apenas um "instrumento" para resolver os desafios da sustentabilidade, mas também são fundamentais como impulsionadores de mudanças disruptivas.

### III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual paradigma de transição energética mundial está influenciado por duas revoluções: a ascensão de recursos não convencionais de óleo e gás, em especial nos EUA, e as transformações nos setores elétricos, com destaque para a integração de fontes renováveis variáveis e a eletrificação dos serviços energéticos. Essas mudanças ocorrem num cenário em que países desenvolvidos e em desenvolvimento buscam o atingimento de metas de desenvolvimento sustentável, combate às mudanças do clima e preservação do meio ambiente.

Em prol do desenvolvimento sustentável, a evolução dos sistemas energéticos deve superar desafios específicos como: a universalização do acesso, a segurança do suprimento e a modicidade tarifária. Esses desafios envolvem questões multidisciplinares, como a ampliação da eletrificação baseada em fontes renováveis variáveis, os impactos da digitalização no consumo e na oferta de energia, os investimentos em inovação tecnológica, a redução da pobreza e da desigualdade energética.

A transformação dos setores energéticos é parte relevante para a redução das emissões mundiais de gases de efeito estufa, o que tem sido apontado como um dos principais objetivos associados a uma transição para uma economia de baixo carbono.

É preciso integrar esses desafios na esfera do planejamento de cada país. No mundo cada vez mais conectado e sujeito a rápidas

atualizações, digitalização, inovação tecnológica e produtividade são fatores que orientam a competitividade das economias mundiais. Os valores globalmente percebidos pelas sociedades tendem a impactar nas decisões individuais de cada país, que terão cada vez mais que alinhar suas estratégias de desenvolvimento e planejamento aos objetivos sustentáveis. Isso requer inovação também na formulação de políticas públicas e planos de ação.

Está em curso uma transformação dos sistemas energéticos mundiais, acelerada por avanços tecnológicos, redução dos custos, mudanças nas políticas e investimentos, novos modelos de negócios e maior cooperação.

Existem diversos caminhos possíveis. Mas é necessário um maior engajamento das nações e um maior investimento para promoção de tecnologias renováveis, da eficiência energética e do acesso às modernas formas de energia com confiabilidade e sustentabilidade. Nesse sentido, o petróleo (especialmente diesel, QAV e derivados não-energéticos) e o gás natural ainda contribuirão para a universalização do acesso a fontes modernas de energia, sendo que o gás natural, como combustível da transição, terá também o papel essencial de conferir confiabilidade do setor elétrico à medida que aumente a participação de fontes renováveis não-despacháveis no sistema.

## IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, (2012). *Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012*. Diário Oficial da União de 19.04.2012, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76.
- 2) BP, (2019). *BP Energy Outlook: 2019 edition*. BP p.l.c. 141 p. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 3) BRASIL, (2015). *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=11915:contribuicao-brasil-indc-27-de-setembro&catid=43&lang=pt-BR&Itemid=478](http://www.itamaraty.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=11915:contribuicao-brasil-indc-27-de-setembro&catid=43&lang=pt-BR&Itemid=478). Acesso em: 20 ago. 2019.
- 4) EIA. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, (2018). *International Energy Outlook 2018*. Washington: U.S. Department of Energy, 2018. Jul. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 5) EIA. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, (2019). *Annual Energy Outlook 2019: with projections to 2050*. Washington: U.S. Department of Energy, 2019. Jan. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 6) EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2016). *O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia*. Nota Técnica – COP21. Junho. 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-cop21>.
- 7) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018a). *Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético: Considerações Iniciais*. Documento de Apoio ao PNE 2050. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- 8) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018b). *Mecanismos para Economia de Baixo Carbono*. Documento de Apoio ao PNE 2050. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>.
- 9) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018c). *Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento*. Agosto. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- 10) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018d). *Informe: Mercado Internacional de GNL ciclo 2018 – 2027*. Setembro. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/informe-mercado-internacional-de-gnl-2017-2018>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 11) EPE/BMWi. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA E BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, (2017). *Untapping flexibility in power systems*. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/en/press-room/news/flexibility-in-power-systems-was-topic-of-joint-event-and-publication-of-epe-mme-and-the-german-ministry-of-economic-affairs-and-energy>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 12) EPOV. EU ENERGY POVERTY OBSERVATORY, (2019). *Indicators & Data*. Disponível em: <https://www.energy-poverty.eu/indicators-data>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 13) EQUINOR, (2019). *Energy Perspectives 2019: Long-term macro and market outlook*. Stavanger: Equinor ASA, 2019. 62 p. Disponível em: <https://www.equinor.com/en/how-and-why/energy-perspectives.html>. Acesso em: 9 set. 2019.
- 14) EXXON MOBIL, (2019). *2019 Outlook for Energy: A perspective to 2040*. Irving: Exxon Mobil Corporation, 2019. 56 p. Disponível em: <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-environment/Energy-resources/Outlook-for-Energy>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 15) GALVIN, R. (Ed.), (2019). *Inequality and Energy*. 1. ed. Cambridge, Academic Press, 2019. 304 p.
- 16) GEA, (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, USA, e International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria. Disponível em: <http://www.globalenergyassessment.org/>. Acesso em: 02 set. 2019.

- 17) GOOZEE, H., (2017). *Energy, poverty and development: a primer for the Sustainable Development Goals*. International Policy Centre for Inclusive Growth (IPC-IG). Working paper nº 156. Brasília: IPC-IG, 2017. Disponível em: [https://www.ipc-undp.org/search\\_publications?combine=Working+Paper&field\\_language\\_value=eng](https://www.ipc-undp.org/search_publications?combine=Working+Paper&field_language_value=eng). Acesso em: 02 set. 2019.
- 18) IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, (2017). *Digitalization & Energy*. Paris: OECD/IEA, 2017. 185 p. Disponível em: <https://www.iea.org/digital/>. Acesso em: 1 ago. 2018.
- 19) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018a). *Key World Energy Statistics 2018*. Paris: OECD/IEA, 2018. 51 p. Disponível em: <https://webstore.iea.org>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- 20) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2018b). *World Energy Outlook 2018*. Paris: OECD/IEA, 2018. 643 p.
- 21) \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. (2019). *Energy Prices and Taxes for OECD Countries - 2nd Quarter 2019: An Overview*. Paris: OECD/IEA, 2019. 8 p. Disponível em: <https://webstore.iea.org>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- 22) IGU. INTERNATIONAL GAS UNION, (2019). *2019 World LNG Report*. Barcelona: IGU, 2019. 126 p. Disponível em: <https://www.igu.org/>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 23) IIASA. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS, (2014). *Energy Inequality*. Disponível em: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/alg/energy-inequality.html>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 24) IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, (2013). *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US. pp. 1–30. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- 25) IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, (2017). *Planning for the renewable future: Long-term modelling and tools to expand variable renewable power in emerging economies*. Abu Dhabi: IRENA, 2017. 131 p. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 24 jan. 2017.
- 26) IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, (2018). *Global Energy Transformation: A roadmap to 2050*. Abu Dhabi: IRENA, 2018. 75 p. Disponível em: <https://www.irena.org/publications>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 27) KAREKEZI, S., McDADE, S., BOARDMAN, B. e KIMANI, J., (2012). *Energy, Poverty and Development*. Chapter 2. In: GEA, (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press e International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). pp. 151-190. Disponível em: [https://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Chapters\\_Home.en.html](https://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Chapters_Home.en.html). Acesso em: 02 set. 2019.
- 28) NAÇÕES UNIDAS BRASIL, [s.d.]. *Objetivo 7: Energia limpa e acessível*. Informação. Site gerido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 29) OPEC. ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES, (2018). *World Oil Outlook 2040*. Viena: OPEC Secretariat, 2018. Set. 393 p. Disponível em: <https://woo.opec.org/>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 30) PLATAFORMA AGENDA 2030, (2016). *A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. [2016?]. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em 02 set. 2019.
- 31) SACHS, J.D., SCHMIDT-TRAUB, G., MAZZUCATO, M., MESSNER, D., NAKICENOVIC, N. e ROCKSTRÖM, J., (2019). *Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals*. Nature Sustainability. 26 ago. 2019.
- 32) SHELL, (2013). *New Lens Scenarios*. Shell International BV. Mar. 2013. Disponível em: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/new-lenses-on-the-future.html>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 33) SHELL, (2018). *Sky: Meeting the Goals of the Paris Agreement*. Shell Scenarios. Shell International B.V. 68 p. Disponível em: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html>. Acesso em: 09 set. 2019.
- 34) SOVACOOOL, B.K., (2014). *Energy, Poverty, and Development*. 1 ed. Abingdon: Routledge, 2014. 2028 p.
- 35) TWI2050. THE WORLD IN 2050, (2018). *Transformations to Achieve the Sustainable Development Goals*. Report prepared by e World in 2050 initiative. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/15347>. Acesso em: 02 set. 2019.

- 36) TWI2050. THE WORLD IN 2050, (2019). The Digital Revolution and Sustainable Development: Opportunities and Challenges. Report prepared by The World in 2050 initiative. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria. Disponível em: [pure.iiasa.ac.at/15913/](http://pure.iiasa.ac.at/15913/). Acesso em: 02 set. 2019.
- 37) UiO. UNIVERSITY OF OSLO, (2018). *Globalisation, Inequality and Energy*. Resumo do Seminário sobre energia e desenvolvimento. UiO:Energy. Junho. 2018. Disponível em: <https://www.uio.no/english/research/strategic-research-areas/uio-energy/news-and-events/news/2018/globalisation-inequality-and-energy.html>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 38) UNDESA. UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, (2018a). *Sustainable Development Goals*. Division for Sustainable Development Goals (DSDG). [2018?]. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 39) UNDESA. UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, (2018b). *Launch of Policy Briefs on Accelerating SDG7 Achievement*. Informação. 7 mai. 2018. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/?page=view&nr=1473&type=230&menu=2059>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 40) UNDESA. UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, (2018c). *Accelerating SDG 7 achievement: Policy briefs in support of the first SDG 7 review at the UN High-Level Political Forum 2018*. New York, United Nations, 2018. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/?page=view&nr=2749&type=13&menu=1634>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 41) UNDESA. UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, (2019). *Total Population - Both Sexes*. File POP/1-1: Total population (both sexes combined) by region, subregion and country, annually for 1950-2100 (thousands). Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 42) UNDP. UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME, (2017). *Goal 7: Affordable and clean energy*. [2017?]. Disponível em: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 43) UNESCAP. UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC, (2019). *Energy for Sustainable Development*. Disponível em: <https://www.unescap.org/our-work/energy>. Acesso em: 02 set. 2019.
- 44) UNITED NATIONS, (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>. Acesso em 06 set. 2019.
- 45) WRI. WORLD RESOURCES INSTITUTE, (2019). *Climate Watch - Historical GHG Emissions*. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&sectors=411%2C412>.
- 46) ZHENMIN, L., (2018). *Launch of Policy Briefs on SDG 7 on Energy and its Interlinkages with other SDGs*. 18 abr. 2018. Subsecretário-geral do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/?page=view&nr=2749&type=13&menu=1634>. Acesso em: 02 set. 2019.



Empresa de Pesquisa Energética

# PANORAMA SOBRE CIDADES INTELIGENTES, ECONOMIA CIRCULAR E MOBILIDADE URBANA

ARTIGO EXTERNO, 10 DE MARÇO DE 2021

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

URL: <http://www.epe.gov.br> | E-mail: [biocombustiveis@epe.gov.br](mailto:biocombustiveis@epe.gov.br)

Escritório Central: Praça Pio X, nº 54 - CEP 20.091-040 - Rio de Janeiro/RJ

## INTRODUÇÃO

O presente documento apresenta um panorama sobre a transição energética, no âmbito do evento organizado pelo IBP e pela EPE “Ciclo de Debates sobre Transição Energética”. Neste artigo, são discutidos os conceitos de cidades inteligentes e economia circular com especial enfoque em sua gênese, buscando identificar o que se considera consenso sobre esses temas. Aspectos essenciais como mobilidade urbana são apontados juntamente com outros fatores para ilustrar o papel de destaque do meio urbano na transição energética e os seus impactos sobre a indústria de O&G no médio e longo prazos.

## Equipe Técnica

### Coordenação Geral

José Mauro Ferreira Coelho  
Giovani Vitória Machado

### Coordenação Executiva

Angela Oliveira da Costa  
Carla Achão

### Equipe Técnica

Flávio Raposo de Almeida  
Gustavo Naciff de Andrade  
Natália Gonçalves de Moraes  
Patrícia Feitosa B. Stelling  
Rachel Martins Henriques

### Revisão

Luciano B. Oliveira  
Juliana Velloso Durao

## 1. CONCEITO DE CIDADE INTELIGENTE

O conceito de cidades inteligentes tem ganhado popularidade ao longo dos últimos anos. A origem do conceito na literatura é tema controverso. Alguns autores, como Gabrys (2014), sustentam que este termo tem raízes nos anos 1960, derivado do conceito de cidades ciberneticamente planejadas (*cybernetically planned cities*) e dos planos de desenvolvimento urbano propostos na década de 1980 para cidades em rede.

Já para Logan & Molotch (1987) apud Sokolov et al. (2019), o conceito tem origem na década de 1980, quando ideias sobre cidades “fáceis de gerenciar”<sup>1</sup> foram discutidas com foco na velocidade e flexibilidade com que as cidades se adaptariam aos mercados globais tornando-se mais eficientes e competitivas. O termo também foi introduzido no início dos anos 1990 no livro *Technopolis Phenomenon*<sup>2</sup> para conceituar o fenômeno de desenvolvimento urbano dependente de tecnologia, inovação e

globalização em uma perspectiva econômica. Harrison & Donnelly (2011), por sua vez, argumentam que a utilização do conceito ocorreu pela primeira vez no fim da década de 1990, no âmbito do movimento estadunidense *Smart Growth*, que defendia novas políticas para o planejamento urbano em cidades como Portland.

No entanto, a partir dos anos 2000, o conceito foi aplicado por uma série de empresas de alta tecnologia para descrever a aplicação de sistemas de informação complexos para integração da infraestrutura urbana. Sob esta ótica, o elemento central do conceito está baseado em inovação tecnológica. A definição apresentada pela IBM em 2010 exemplifica tal fato, ao definir *Smart City* como “o uso da tecnologia da informação e

<sup>1</sup> O termo original em inglês denominava as cidades “fáceis de gerenciar” como “easy-to-manage” cities.

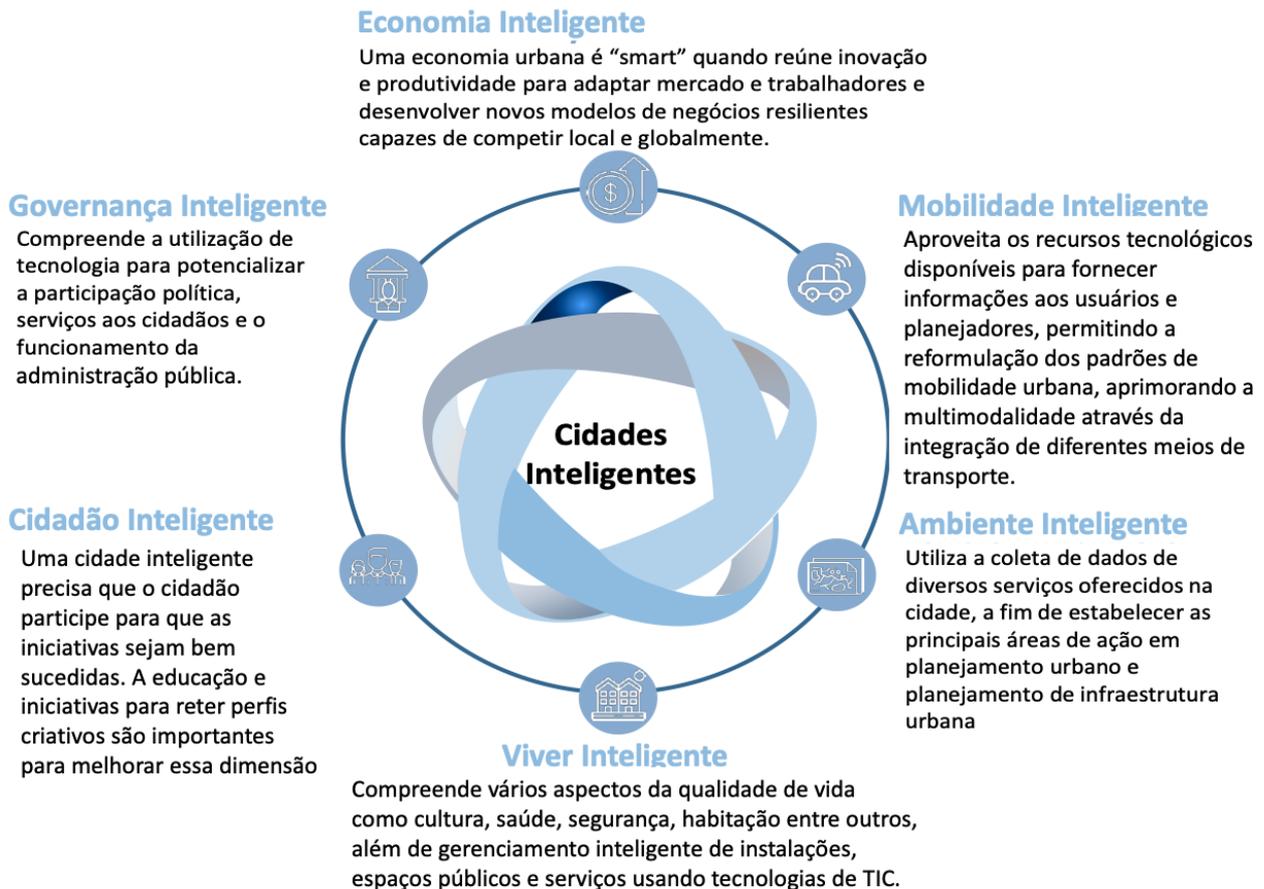
<sup>2</sup> Livro *Technopolis Phenomenon* de Gibson, Kozmetsky, & Smilor (1992)

comunicação para detectar, analisar e integrar as principais informações dos principais sistemas nas cidades em execução”.

Outras visões mais abrangentes sugerem que o conceito deva ser orientado à sociedade. Nesta perspectiva, as tecnologias de informação e comunicação devem funcionar como ferramentas que possibilitam a melhor compreensão da dinâmica urbana, aprimorando os serviços prestados à sociedade. Em tal contexto, a cidade inteligente deve unir tecnologia, fatores humanos e institucionais para atuar sobre aspectos econômicos, sociais e

ambientais do ecossistema urbano melhorando a qualidade de vida dos cidadãos.

Alguns autores como Giffinger et al, (2007) e ASCIMER (2015) propõem seis pilares ou dimensões a partir dos quais é possível analisar “iniciativas inteligentes” definidas como aquelas capazes de contribuir para atingir as metas no âmbito da estratégia de uma *Smart City*. Os seis pilares mencionados e suas breves descrições são apresentadas na Figura 1.



**TABELA 1: DIMENSÕES DAS CIDADES INTELIGENTES**

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE GIFFINGER, R. ET AL (2007) E ASCIMER (2015)

## 2. PANORAMA SOBRE CIDADES INTELIGENTES

A inteligência das cidades é uma característica que, de certa forma, sempre esteve presente em seu cotidiano, seja nas adaptações às condições naturais onde o ambiente urbano se instalou, na própria forma de organização da sociedade, ou no exercício das suas atividades. Ao longo do tempo, as novas alternativas tecnológicas vêm trazendo benefícios aos cidadãos, com o intuito de melhorar a qualidade de vida nas cidades, construindo uma roupagem mais moderna do que se entende por inteligência nas cidades, processo que sempre esteve presente, em algum grau, no dia-a-dia urbano de cidades mais desenvolvidas.

Dentre alguns exemplos ao redor do mundo, pode-se destacar o projeto *Smart City Amsterdam*, iniciado em 2009, no qual o ponto de partida não era apenas fornecer soluções técnicas, mas trabalhar em colaboração, co-criação e parceria entre as partes interessadas da cidade para avançar rumo a soluções sustentáveis e inteligentes. O projeto foi desenvolvido em um modelo de parceria com quatro frentes: público, privado, academia e comunidade, integrando com sucesso os objetivos ambientais e sociais aos econômicos e tecnológicos. Por conseguinte, a cidade pode ser considerada um modelo de cidade inteligente europeia (Yigitcanlar, T et al., 2019). A iniciativa de cidade inteligente de Amsterdã ainda é famosa, não apenas por envolver soluções tecnológicas para um desenvolvimento inteligente da cidade, mas também por usar os laboratórios de cidades inteligentes para envolver as

comunidades locais e determinar coletivamente as soluções para a cidade e seus moradores.

No âmbito mundial, algumas instituições têm criado formas de classificar o nível de inteligência das cidades a partir de classificações como o *Global Cities Index* (A.T. Kearney, 2019) e o *Global Power City Index* (MMF, 2019).

Já o *Cities in Motion Index*, do IESE Business School na Espanha, avaliou 174 cidades segundo nove dimensões que indicam o nível de inteligência de uma cidade: governança, administração pública, planejamento urbano, tecnologia, meio-ambiente, conexões internacionais, coesão social, capital humano e economia (IESE, 2019).

De acordo com Yigitcanlar, T. et al. (2019), apesar de não se ter construído ainda cidades verdadeiramente inteligentes, existem diferentes abordagens para a conceituação e a prática destas. No sudeste da Ásia, as cidades inteligentes seriam usadas como veículo para criar identidade nacional, impulsionar a economia por meio da inovação tecnológica e testar e implementar tecnologias em projetos de desenvolvimento urbano em larga escala. Enquanto que, na Europa, América do Norte e Oceania, o modelo de cidades inteligentes é adotado principalmente para melhorar a qualidade de vida urbana e familiar, juntamente com o estabelecimento de um futuro urbano mais sustentável, mas geralmente em projetos de pequena escala.

## 2.1 INICIATIVAS NO BRASIL

Com 84% da sua população vivendo em cidades, o Brasil é um dos países mais urbanizados do mundo, apresentando um cenário urbano heterogêneo nas diferentes regiões (MDR, 2019). A discussão sobre Cidades Inteligentes começou a despontar de forma mais expressiva em diversas esferas da sociedade nos últimos anos, com relativo impulso oriundo dos eventos esportivos ocorridos no país em 2014 e 2016 e a reflexão sobre os desafios de infraestrutura nas cidades brasileiras. Há algumas iniciativas recentes, tais como a Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas (RBCIH), criada em 2013, no âmbito da Frente Nacional de Prefeitos – que congrega as 350 maiores cidades brasileiras –, e reúne secretários e dirigentes municipais de ciência, tecnologia e inovação, bem como secretários municipais de desenvolvimento econômico (RBCIH, 2019).

Alguns dos marcos importantes realizados pela rede foram a criação de uma comissão interministerial em 2015 para tratar do assunto, coordenada pela ABDI; a criação de uma Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas em 2016, que busca discutir os avanços necessários em termos de legislação para que se possa facilitar o desenvolvimento das cidades; e a redação do relatório “Brasil 2030: Cidades Inteligentes e Humanas” em 2016, com a participação de universidades e setores da iniciativa privada a fim de criar um consenso com características brasileiras sobre o tema e servir de norte para as ações da rede em todo o País.

O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) iniciou em 2017 sua atuação na temática com a

publicação de algumas referências internacionais de cidades inteligentes (SEBRAE, 2017) pela sua Unidade de Assessoria Institucional.

No âmbito do governo federal, as iniciativas em planejamento dos municípios se concentram nas ações do Programa Nacional de Capacitação das Cidades (PNCC), conduzido pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), e com foco sobre o fortalecimento da gestão municipal. A atuação no tema cidades inteligentes reside mais especificamente sobre o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), o qual entende o conceito de cidade inteligente como locais que usam infraestrutura de tecnologia, inovação e comunicação, para promover o bem-estar da comunidade por meio de quatro vertentes: social, ambiental, cultural e econômico (Agência Brasil, 2019).

Nesse contexto, destacam-se as ações do Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis (Oics), desenvolvido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) no âmbito do projeto CITInova – Planejamento integrado e tecnologias para cidades sustentáveis. O Oics atua como uma plataforma virtual de mapeamento e divulgação de soluções urbanas inovadoras contextualizadas ao território nacional por meio de tipologias de cidades-regiões (OICS, 2019). Já o Projeto CITInova tem abrangência nacional e projetos pilotos em Brasília e Recife, com foco em planejamento urbano integrado e investimentos em infraestruturas urbanas com tecnologias inovadoras para enfrentar desafios históricos da população e da gestão pública nas áreas de água, resíduos, energia, mudanças climáticas e mobilidade (CITInova, 2019).

## 3. ASPECTOS CENTRAIS SOBRE CIDADES INTELIGENTES

A complexidade contemporânea das cidades tem trazido diversos questionamentos quanto ao que uma cidade pode e deve oferecer aos seus cidadãos. Assim, emerge o desafio de como melhor planejá-las, torná-las competitivas e, ao mesmo tempo, garantir condições de vida sustentáveis aos seus habitantes. Nesse contexto, fortalece-se a criação das cidades inteligentes, que deriva não somente da aplicação do desenvolvimento tecnológico, mas também da busca pelo equilíbrio entre variáveis como governança, gestão pública, economia, meio ambiente, mobilidade e qualidade de vida (Costa, C. A., Matos, A. C., 2015). Dentre os diversos aspectos que podem ser inseridos na discussão sobre cidades inteligentes, destacam-se algumas questões consideradas centrais na discussão pela ótica da gestão de energia e do meio ambiente urbano.

### 3.1 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

A evolução do conceito de cidade inteligente, o tornou cada vez mais próximo do conceito de cidade sustentável. A convergência destes conceitos levou às Nações Unidas - Comissão para a

Europa (UNECE) juntamente com a União Internacional das Telecomunicações (UIT) a lançarem a iniciativa *United for Smart Sustainable Cities* (U4SSC) em maio de 2016.

Esta plataforma global facilita o compartilhamento de conhecimento e a construção de parcerias em cidades inteligentes, com o objetivo de formular diretrizes estratégicas para implementar, entre outras, a Nova Agenda Urbana, o Acordo de Paris, a Agenda *Connect 2020* e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. O U4SSC adotou a seguinte definição para cidades inteligentes e sustentáveis, desenvolvida pela UIT e UNECE: “Uma cidade inteligente e sustentável é uma cidade inovadora que utiliza tecnologias de informação e comunicação (TICs) e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações e serviços urbanos e competitividade, garantindo, ao mesmo tempo, que atenda às necessidades das gerações presentes e futuras considerando aspectos econômicos, sociais, ambientais e culturais” (U4SSC, 2017).

No âmbito de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte de um Protocolo Internacional da Assembleia Geral das Organizações das Nações Unidas (ONU) adotado em setembro de 2015, por 193 países, o tema de Cidades e Comunidades Sustentáveis é abordado diretamente no ODS 11. Este ODS visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, incluindo sete metas e três sugestões de como implementá-las. Dentre as metas, estão aquelas relacionadas ao acesso à habitação, aos serviços básicos, à urbanização de favelas, aos sistemas de transporte sustentáveis e à redução de impacto ambiental negativo per capita das cidades (prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros).

Dadas as características de indivisibilidade e integração dos ODS, os demais ODS também são importantes para possibilitar a implementação de cidades sustentáveis. Assim, por exemplo, o ODS 3 se refere a assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades, contemplando a meta de redução substancial do número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo. O ODS 7, trata de garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos.

Dentre as metas do ODS 9, cujo foco é a infraestrutura resiliente e a industrialização, está a modernização da infraestrutura das indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados. O objetivo de tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos é contemplado no ODS 13, que inclui a meta de melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

Ressalta-se que as cidades são fundamentais para o sucesso dos ODS. Apesar da Agenda 2030 ser uma agenda global, ela deve ser implementada, sobretudo, localmente. De acordo com UNHABITAT E COLAB (2019), um primeiro motivo para isso, mais

quantitativo, é que os municípios são diretamente responsáveis pela execução de um número considerável de tarefas para a realização dos ODS de acordo com os compromissos dos governos nacionais. Além disso, cerca de 65% das metas da Agenda 2030 não poderiam ser plenamente alcançados sem a contribuição dos governos regionais e locais. Todos ODS têm metas diretamente relacionadas às responsabilidades dos governos locais e regionais e, portanto, seu alcance depende, acima de tudo, da capacidade destes governos para promover um desenvolvimento territorial integrado, inclusivo e sustentável.

O Brasil assumiu o compromisso de implementar os ODS e, através da Secretaria de Governo Federal, criou a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com a finalidade de elaborar um plano de ação para implementação da Agenda 2030, promovendo a articulação com órgãos e entidades públicas das unidades federativas para a disseminação e a implementação dos ODS nos níveis estadual, distrital e municipal (ITAMARATY, 2019). Neste contexto, os indicadores presentes em cada uma das metas, são importantes para o desenho de políticas públicas, bem como para medir o progresso resultante da aplicação dessas políticas (IPEA, 2018).

## 3.2 ECONOMIA CIRCULAR

### 3.2.1 ORIGENS DO CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR

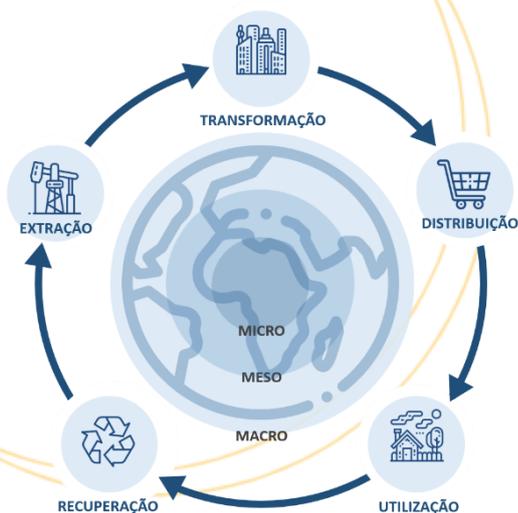
A Revolução Industrial marcou o domínio de um modelo linear de produção e consumo, no qual os bens são fabricados a partir de matérias-primas, vendidos, usados e depois descartados como resíduos. Este modelo leva à superexploração de recursos naturais e perdas significativas ao longo das cadeias de produção e no consumo.

A partir da década de 1960, a preocupação com o meio ambiente repercutiu nas pesquisas de ecologistas e economistas ambientais que passaram a propor um modelo circular de produção, no qual se busca a recirculação de recursos.

As aplicações práticas de economia circular aos modernos sistemas econômicos e processos industriais ganharam força desde o final da década de 1970 com iniciativas práticas de ecologia industrial. De acordo com esta teoria, as atividades industriais podem funcionar como um metabolismo, onde diferentes atores podem ser integrados através de seus resíduos e recursos, que continuamente circulam pelo inventário de recursos do sistema (PRIETO-SANDOVAL V. et al, 2018).

No início dos anos 1990, os economistas ambientais Pearce e Turner criaram o termo “*circular economy*” para explicar a viabilidade de levar em consideração a conscientização ambiental nos fluxos econômicos, fechando os *loops* industriais (GEISSDOERFER, M., 2017). Apesar disso, o termo economia circular não é atribuído a um só autor ou escola de pensamento e, sim, visto como um conceito em desenvolvimento através de diferentes abordagens e através de disciplinas tais como ecologia, economia, engenharia, design e negócios. Algumas das definições de economia circular são apresentadas a seguir.

A economia circular é restauradora e regenerativa por design e visa manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor em todos os momentos, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos. É concebido como um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza os riscos do sistema, gerenciando estoques finitos e fluxos renováveis. Esse modelo econômico busca, em última análise, dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo finito de recursos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).



Na

Figura 2, a economia circular é descrito como um ciclo de extração, transformação de recursos, distribuição, uso e recuperação de bens e materiais. Primeiro, as empresas retiram recursos do meio ambiente para transformá-los em produtos e serviços. Em seguida, eles distribuem os produtos ou serviços aos consumidores nos pontos de venda ou a outras empresas. Neste ponto, a economia circular propõe fechar o ciclo através da recuperação de bens (PRIETRO-SANDOVAL, V.et al, 2018).



**FIGURA 2: CICLO DE ECONOMIA CIRCULAR**

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE PRIETRO-SANDOVAL, V.et al (2018)

De acordo com P. Ghisellini et al. (2016), a economia circular emerge principalmente na literatura através de três "ações" principais, isto é, os chamados Princípios 3R: Reduzir, Reutilizar e Reciclar:

- Princípio da redução: visa minimizar a entrada de recursos primários de energia, matérias-primas e resíduos através da melhoria da eficiência na produção e no consumo, introdução de melhores tecnologias, produtos leves, embalagem simplificada, um estilo de vida mais simples, etc.
- Princípio de reutilização: refere-se a “qualquer operação pela qual produtos ou componentes que não são resíduos sejam usados novamente para a mesma finalidade concebidos (UE, 2008). A reutilização de produtos é muito atraente em termos de benefícios ambientais, pois requer menos recursos, menos energia e menos mão-de-obra, em comparação com a manufatura de novos produtos a partir de materiais virgens ou mesmo reciclagem ou descarte.
- Princípio da reciclagem: refere-se a “qualquer operação de recuperação pela qual os resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias, seja para fim o original ou para outros fins. Inclui o reprocessamento de material orgânico, mas não inclui recuperação de energia e reprocessamento em materiais a serem usados como combustíveis ou para operações em aterros” (UE, 2008).

Embora a economia circular seja frequentemente identificada com o princípio da reciclagem, deve ser sublinhado que esta pode ser a solução menos sustentável comparada com os demais princípios (Redução e Reutilização) em termos de eficiência de recursos e lucratividade (P. GHISELLINI et al., 2016).

### 3.2.3 IMPLEMENTAÇÃO

A Implementação da Economia Circular no mundo segue padrões diferentes. Alguns países seguem uma abordagem que pode ser caracterizada como *top down*, fazendo uso de instrumentos tais como políticas de comando e controle, como no caso da China. Outros países recorrem a uma política *bottom-up* com foco em instrumentos e mecanismos de mercado, com o envolvimento de atores diversos, como organismos ambientais sociedade civil, ONGs, etc. Os atores demandam produtos com menor impacto no meio ambiente e a legislação contempla o envolvimento tanto de atores públicos, quanto de empresas privadas e da indústria, a exemplo de Europa e Japão (GHISELLINI et al., 2016).

Um exemplo de política adotado na Europa é a adoção do conceito de ecodesign para o desenvolvimento de produtos. A Diretiva 2005/32/CE do Parlamento Europeu estabelece um quadro para a fixação dos requisitos de concepção ecológica dos produtos que consomem energia. O eco-design ou o design ecológico dos produtos é um fator crucial na estratégia de política integrada para direcionar o desenvolvimento de produtos. Pode-se dizer que é uma abordagem preventiva, projetada para otimizar o desempenho ambiental dos produtos, mantendo suas qualidades funcionais e fornecendo novas oportunidades para fabricantes, consumidores e a sociedade

como um todo (EC, 2009) (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 2009).

Em 2015, a Comissão Europeia adotou um plano de ação para ajudar a acelerar a transição da Europa para uma economia circular, impulsionar a competitividade a nível mundial, promover o crescimento econômico sustentável e criar novos postos de trabalho.

O plano de ação estabelece 54 medidas para fechar o ciclo de vida dos produtos, da fabricação do produto primário ao mercado das matérias-primas secundárias, passando pelo consumo do produto e pela gestão dos resíduos, e identifica cinco setores prioritários para acelerar a transição ao longo das respectivas cadeias de valor (plásticos, resíduos alimentares, matérias-primas essenciais, construção e demolição, biomassa e materiais de base biológica). Além disso, o plano de ação promove a cooperação entre os países da UE, as regiões e os municípios, as empresas, os organismos de investigação, os cidadãos e outras partes interessadas na economia circular (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Em março de 2020, a Comissão Europeia estabeleceu um novo plano de ação de economia circular. O novo plano lançou uma estratégia para uma economia com impacto neutro no clima, eficiente em termos de recursos e competitiva. Ele objetiva ampliar o alcance da economia circular para que se alcance a neutralidade climática até 2050 e para dissociar o crescimento econômico da utilização dos recursos, garantindo igualmente a competitividade da UE a longo prazo sem deixar ninguém para trás.

Para concretizar esta ambição, a UE terá que acelerar a transição para um modelo de crescimento regenerativo que restitua ao planeta mais do que lhe retira, progredir no sentido de o consumo de recursos não ultrapassar os limites do planeta e, nesse intuito, envidar esforços para reduzir o impacto ecológico do consumo e duplicar a taxa de utilização de materiais circulares na próxima década.

### 3.2.4 O SETOR DE ENERGIA E A ECONOMIA CIRCULAR

A abordagem da economia circular e do “fechamento do ciclo” é um dos pilares para se atenuar problemas relacionados à segurança do suprimento de energia, à ameaça das mudanças climáticas, à escassez de materiais, à dependência de importação e à geração de resíduos (TOMIĆ, T., 2018).

A economia circular no sistema energético consiste em projetos, processos e soluções que maximizam o uso eficiente de recursos naturais para produção de energia, uso final de energia, excesso de energia e correntes laterais (DELOITTE, 2018). A economia circular na indústria de energia pode ser categorizada em três estratégias principais: 1) infraestrutura de produção/geração de energia; 2) aproveitamento de combustíveis para geração de

energia; 3) cooperação entre indústrias, empresas e/ou outros atores; e 4) interface com o consumidor. A seguir, alguns exemplos que se enquadram nestas categorias:

#### 1. Economia circular na infraestrutura de produção/geração de energia

Na etapa da produção de petróleo e gás ou geração de energia elétrica, por exemplo, considera-se o design de ativos ou serviços no qual se planeja a reciclabilidade de materiais nas plantas de produção de energia e nas redes distribuidoras. Ao final da vida útil da planta, parte da infraestrutura e materiais podem ser utilizados como insumos em novos projetos, como energéticos em processos diversos, ou como parte do processo de logística reversa.

A Trina Solar, uma das maiores fabricantes mundiais de painéis solares e com sede na China, começou a desenvolver tecnologias e padrões para a reciclagem de final de uso módulos fotovoltaicos em antecipação à obsolescência dos painéis de primeira geração. A operação de logística reversa estará localizada principalmente em países de uso final. Vidro serão extraídos dos módulos e usados para outras aplicações de vidro, enquanto os sistemas de controle eletrônico serão tratados como resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). Isso permitirá ganhos econômicos com o valor do material secundário, redução de descartes de resíduos, de consumo energético e impactos ambientais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

O desmantelamento de 23 usinas termelétricas pela italiana ENEL, devido à redução de demanda e aumento da geração descentralizada, levou a empresa a estabelecer o Futur-E, um programa público-privado que usa concursos públicos e concursos de ideias para identificar a longo prazo, soluções de remodelação para as antigas plantas. Um dos projetos realizados foi a transformação da antiga usina de óleo combustível em Augusta, Sicília em uma usina de gaseificação de biomassa de 900 kW alimentada a partir de biomassa local (WBSCD, 2017).

#### 2. Economia circular no aproveitamento de combustíveis para geração de energia

Nesta esfera, contempla-se a geração de energia renovável, energia gerada a partir do lixo (*waste to energy*) e conversão de combustíveis.

A utilização do biogás é um exemplo que vem sendo crescentemente aplicado nas cidades, cuja produção de lixo tem se tornado um problema latente. Assim, os resíduos sólidos coletados nas cidades (biomassa, produtos vegetais ou animais) são crescentemente utilizados para geração de eletricidade e redução do volume de material que provavelmente seria queimado em aterros sanitários. A parcela orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros e lixões é decomposta anaerobicamente produzindo biogás, que contém aproximadamente 50% de metano (CH<sub>4</sub>) e 50% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em volume<sup>3</sup>, além de traços de outros compostos orgânicos. O biogás produzido pela degradação dos resíduos é

<sup>3</sup> A composição do biogás dependerá das condições de processo do e substrato utilizado.

passível de aproveitamento energético pela conversão em eletricidade, utilização como combustível para caldeiras ou conversão em biometano. O aproveitamento neste último caso pode se dar como combustível veicular ou geração de calor (EPE, 2018).

Idealmente, o biogás pode ser um elemento integrante da economia circular. Este energético representa, em geral, uma produção em pequena escala que permite a descentralização do setor de energia e a inclusão de muitos novos atores. Além disso, para a sociedade, a produção de biogás fornece tecnologia para tratar resíduos orgânicos, possibilitar a reciclagem de nutrientes e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essas vantagens tornam a produção de biogás uma tecnologia capaz de combinar vários benefícios ambientais em diferentes setores (WINQUIST, E. et al., 2019).

No Brasil, um importante passo para aproveitamento do biometano nas cidades foi dado através da publicação da resolução da ANP nº 685/2017, que estabeleceu as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado no território nacional (EPE, 2018). Esta resolução soma-se à ANP nº 08/2015, que especifica o biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais (ANP, 2015).

Após este marco regulatório, a EPE desenvolveu estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano. Foram realizadas simulações acerca do desempenho econômico de 3 projetos para aproveitamento de biogás de aterro para produção de metano a ser injetado nas redes de distribuição de gás canalizado. Os 3 projetos teóricos simulados apresentam diferentes escalas ou estruturas de capital. Dentre os resultados, observou-se que, de maneira geral, a competitividade ocorre para os empreendimentos de maior escala, ao passo que os projetos de menor escala necessitariam de uma precificação adequada dos atributos ambientais para se viabilizarem (EPE, 2019).

Sobre o waste to energy, o aproveitamento de resíduos urbanos é uma realidade internacional, contando com mais de 2.400 usinas ao redor do mundo (ECOPROG, 2020). Nos EUA, por exemplo, 71 usinas de energia geraram cerca de 14 bilhões de kWh de eletricidade pela queima de cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2016. Os materiais de biomassa representaram cerca de 64% do peso dos resíduos sólidos urbanos e cerca de 51% da eletricidade gerada. A queima de resíduos sólidos urbanos reduz o volume de resíduos em cerca de 87% (EIA, 2018).

### 3. Economia circular na cooperação entre indústrias, empresas e/ou outros atores

Como exemplo, está a utilização do excesso de calor e gases de combustão proveniente de plantas de produção de energia em outras indústrias.

O excesso de calor no data center russo *Yandex* em *Mäntsälä* é recuperado para ser distribuído em rede de aquecimento

urbano de *Mäntsälä* pela *Nivos Energia*. A recuperação de calor diminui os custos de manutenção da *Yandex* e a necessidade de combustíveis usados no aquecimento urbano. A solução também diminui significativamente as emissões de dióxido de carbono da produção de calor. *Calefa*, uma empresa focada na utilização do excesso de calor, fornece o equipamento. A cada segundo, o data center produz a quantidade equivalente de calor de aproximadamente 1000 fogões de sauna. *Nivos* compra a energia térmica do data center e pode assim obter a energia térmica necessária para aquecer 1000 casas. A solução é resultado da cooperação entre *Yandex*, *Nivos* e *Calefa* (DELOITTE, 2018).

### 4. Economia circular na interface com o consumidor

Dentre as possibilidades da interface com o consumidor, a economia circular pode ocorrer na etapa da distribuição de energia (produtos e serviços possíveis através das *smart grids*), como serviços (eficiência energética, eletricidade como serviço, iluminação como serviço) e no uso final da energia (resposta da demanda) (DELOITTE, 2018).

A mobilidade urbana é um exemplo de como uma mudança de modelo linear para circular pode trazer diversos ganhos ambientais, sociais e econômicos para a sociedade, através da interface com o consumidor. De acordo com ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019), o modelo linear de mobilidade resulta na alta dependência da propriedade individual de carros, proporcionando altos níveis de congestionamento, levando ao desperdício de tempo e à perda de produtividade, bem como poluição, ruído, efeitos das ilhas de calor e esgotamento de recursos finitos. Diante disso, um sistema circular de mobilidade urbana se concentra em acomodar efetivamente as necessidades de mobilidade do usuário diversificando os modos de transporte. Os principais benefícios de um caminho de desenvolvimento da economia circular incluem reduzir o consumo de material virgem do setor de mobilidade, eliminando desperdícios e poluição, maximizando infraestrutura e utilização de veículos e redução dos custos de uso e operação.

Em Londres, os dados abertos aprimoram serviços públicos, privados e transporte ativo. Com mais de 31 milhões de viagens feitas em Londres todos os dias, o *Transport for London* (TfL) coleta vastas quantidades de dados anônimos sobre como pessoas, veículos e transporte público se movem suas redes. Por meio da análise de *Big Data*, o TfL atua na otimização pública de linhas de transporte, melhorando as condições dos pedestres, monitorando a poluição do ar, prevendo mudanças padrões de transporte, suporte ao uso de veículos elétricos, e diminuição de acidentes de trânsito.

Os dados são também disponibilizados ao público para estimular soluções inovadoras aos desafios de transporte da cidade. Quase 700 aplicativos foram desenvolvidos até agora, que são regularmente usados por mais de 40% dos londrinos. Em 2017, estima-se que a liberação do uso de dados abertos gerou economia anual, benefícios e economias de até 130 milhões de libras esterlinas para viajantes, para a cidade e ao próprio TfL. Além disso, a iniciativa de dados abertos suporta diretamente cerca de 500 novos empregos e indiretamente outros 230

empregos na cadeia de suprimentos e na economia em geral (ELLEN MARCARTHUR FOUNDATION, 2019).

Outro exemplo são os Recursos Energéticos Distribuídos (RED, ou *Distributed Energy Resources* – DER em inglês) os quais são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (*behind-the-meter*). A definição de RED vem se ampliando para abarcar ainda eficiência energética, resposta da demanda (RD) e gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). No estudo da EPE sobre Recursos Energéticos Distribuídos (EPE, 2019), com o intuito de identificar as implicações da penetração em larga escala dessas tecnologias no sistema elétrico, considera-se que os RED contemplam: i) geração distribuída (GD), ii) armazenamento de energia, iii) veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga, iv) eficiência energética e v) gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).

Os REDs estão inseridos no contexto de economia circular, permitindo a maior participação do consumidor tanto na geração, quanto na gestão do consumo da sua própria energia de forma a possibilitar a maior eficiência do sistema elétrico interligado nacional (SIN), menor impacto na demanda de recursos naturais e maior economicidade. O papel mais ativo dos consumidores vem sendo impulsionado pela maior disseminação das tecnologias de telecomunicação e controle, enquanto os REDs vêm apresentando redução dos custos de investimento e transação.

Através da implementação dos REDs, é possível enxergar a postergação de investimentos das redes de transmissão e distribuição, além de capacidade de geração. Do ponto de vista operativo, os RED podem fornecer serviços ancilares, como reserva secundária, por exemplo, para o operador do sistema. Analogamente, a inserção dos RED tem desdobramentos em outros setores, como os de transporte e de calor. As projeções de combustíveis, por exemplo, acabam se relacionando com a penetração de geradores distribuídos e de veículos elétricos.

O mesmo vale para a granularidade temporal. Sabe-se que a geração distribuída fotovoltaica, por exemplo, tem capacidade para reduzir a demanda máxima do sistema no período diurno, marcado pelo grande consumo de condicionadores de ar. Nesse caso, se não houver uma representação no mínimo horária do perfil de consumo e geração, não há a correta valoração da fonte solar.

O aprimoramento dos itens anteriores exigirá uma coleta e processamento de um maior volume de dados de consumo, geradores, tarifas, status da infraestrutura de transmissão e armazenamento, entre outros, com maior resolução e com acesso mais imediato. É o conceito de *Big Data* aplicado ao setor elétrico e ao planejamento. A instalação de medidores inteligentes é uma das condições fundamentais para possibilitar a maior digitalização do setor e a coleta dos dados. Adicionalmente, o avanço da Internet das Coisas (Internet of Things – “IoT”) deve auxiliar esse processo (EPE, 2019).

## 4. MOBILIDADE URBANA

### 4.1 MOBILIDADE URBANA E SEUS DESAFIOS

Conforme já citado por Giffinger et al, (2007) e ASCIMER (2015), as cidades inteligentes contêm o pilar da mobilidade. Segundo Ministério das Cidades, a mobilidade é um atributo associado às pessoas e aos bens; havendo distintas respostas dos indivíduos e agentes econômicos às necessidades de deslocamento, considerando o espaço urbano e suas dimensões e quão complexas são as atividades desenvolvidas neste espaço. Pedestres, ciclistas, motoristas e usuários do transporte coletivo são considerados. (BRASIL, 2004). Neste sentido, a Lei nº 12.587 de 8 de janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, definiu a mobilidade urbana como condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano, em função de condições físicas e econômicas (BRASIL, 2012)

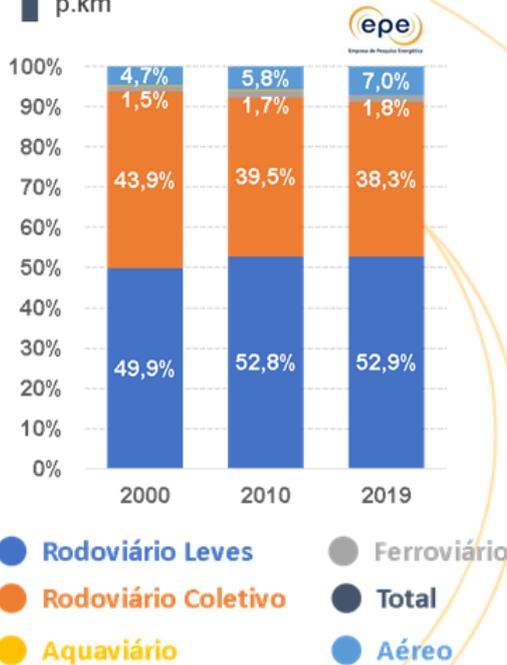
No Brasil, ao longo de décadas, a mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras tem sofrido diversas mudanças, muitas em função do ritmo de motorização, o crescimento das cidades e o uso do solo, questões de compatibilidade da estrutura urbana frente ao avanço da motorização, aspectos relacionados à manutenção das vias públicas, modo de urbanização das cidades e da matriz de transporte do País.

Destaca-se que a matriz de transporte brasileira é basicamente rodoviária, onde o transporte de passageiros é majoritariamente realizado por veículos leves.

Em virtude das precárias políticas públicas no sentido de estimular o uso do transporte coletivo e não motorizado, nota-se a evolução do transporte individual no Brasil, principalmente após a implementação da indústria automobilística nacional. Embora na década de 1950 o uso de bondes fosse utilizado de forma massiva, o avanço do deslocamento privado, individual, rodoviário e fóssil dependente se tornou bastante representativo. Uma nova política de atração de investimentos da indústria automobilística em meados da década de 1990 alavancou o transporte individual motorizando, fazendo com que a produção de automóveis e motocicletas triplicasse no período. Outro fator fundamental para a expansão das vendas foi o aumento da renda familiar, principalmente dos mais pobres, que passaram a ter acesso a bens duráveis. No período de 2008 a 2012, foi possível observar que o número de domicílios com posse de veículos cresceu de 45% (2008) para 54% (2012), com destaque para as classes de renda mais baixa, que mostraram crescimento mais significativo. Neste mesmo período foi observada redução na demanda por serviços de transporte público, sendo que somente o transporte urbano sobre trilhos apresentou crescimento.

Em 2019, o transporte individual representou 53% da atividade de transporte, tendo o transporte coletivo uma participação de 38% (EPE,2020).

### Atividade por modo p.km



Fonte: EPE (2020)

Neste contexto, há problemas centrais para a mobilidade urbana no País. Os congestionamentos nas cidades brasileiras contribuem para horas improdutivas, problemas de saúde pública em decorrência da emissão de material particulado (poluição local), redução da eficiência energética do sistema e desperdício de combustíveis, além de afetar negativamente o desempenho das empresas, a economia e a qualidade de vida da população. Ademais, a baixa qualidade das vias públicas contribui para o aumento do número de acidentes, custo de manutenção de veículos e para a baixa locomoção com uso do transporte não motorizado (a pé e por bicicleta). Por fim, ao longo do tempo, a infraestrutura e a baixa qualidade dos serviços promovem a evasão de passageiros do transporte público para o individual (motocicletas e automóveis), o que dificulta ainda mais a mobilidade nas cidades. (TCU, 2010)

No intuito de melhorar a mobilidade nacional, em janeiro de 2012, foi publicada a Lei nº 12.587, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). Esta apresenta o instrumento da política de desenvolvimento urbano, objetivando a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município. Em seu Art. 6º são apresentadas as seguintes diretrizes:

- I - integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos;
- II - prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado;

III - integração entre os modos e serviços de transporte urbano;

IV - mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade;

V - incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes;

VI - priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado; e

VII - integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

VIII - garantia de sustentabilidade econômica das redes de transporte público coletivo de passageiros, de modo a preservar a continuidade, a universalidade e a modicidade tarifária do serviço. (Incluído pela Lei nº 13.683, de 2018)

Insta destacar que a Política Nacional de Mobilidade Urbana tem como um de seus princípios o desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais, que convergem com os preceitos já citados para mobilidade urbana na economia circular na interface com o consumidor. Cabe citar que já em 2004, o Ministério das Cidades definiu a mobilidade urbana sustentável como “o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visa proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não-motorizados e coletivos de transporte, de forma efetiva, que não gere segregações espaciais, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável (BRASIL, 2004).

Neste sentido, as ações necessárias para a aplicação da PNMU devem considerar diversos aspectos como o social, técnico/operacional, tecnológico, ambiental e econômico.

Na questão social, as ações devem permitir maior acessibilidade das pessoas, em especial das usuárias de transporte coletivo, promovendo a redução do tempo de acesso ao transporte público, de espera, dentro do veículo e do tempo até o destino final após saída do transporte coletivo (Vasconcellos, 1995). A integração entre os modos de transporte, aspectos relacionados ao conforto e à qualidade da prestação do serviço e o preço das tarifas também devem ser considerados.

Os aspectos técnicos/operacionais e tecnológicos relacionam-se com iniciativas de planejamento da infraestrutura, que devem considerar a definição de tecnologias de transporte, a priorização de investimentos, a integração modal e o melhor uso do espaço urbano. O planejamento da circulação requer a obtenção de informações técnicas de qualidade sobre o trânsito; a gestão do fluxo de veículos, o acesso a informações sobre horários, linhas e trajetos de trens, ônibus, metrô e barcas, a integração e sincronização de sinais, dentre outros (FGV, 2015).

No âmbito econômico, as ações para promoção da PNMU incluem a escolha da regulamentação e modo de contratação dos transportes, as formas de financiamento, os custos e as tarifas, além da avaliação do equilíbrio econômico-financeiro dos sistemas (CARVALHO, PEREIRA, VASCONCELLOS, 2010).

Para o atingimento dos objetivos da PNMU, iniciativas ambientais devem incluir a mitigação dos custos ambientais dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade e o incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes. Importante destacar que as ações se relacionam diretamente com a construção de uma matriz de transporte mais equilibrada, de maior eficiência logística e energética, tendo em vista as diversas tecnologias de mobilidade existentes e considerando o processo de transição energética e a busca por um futuro de baixo-carbono.

No conceito de *Smart Cities*, a cidade inteligente deve unir tecnologia, fatores humanos e institucionais para atuar sobre aspectos econômicos, sociais e ambientais do ecossistema urbano melhorando a qualidade de vida dos cidadãos. Esta concepção, em sua dimensão como *Smart Mobility*, pode auxiliar na reformulação e no planejamento da mobilidade urbana, melhorando a integração de diferentes modos de transporte e contribuindo para o aumento da eficiência no uso do transporte e na melhoria da mobilidade das pessoas.

## 4.2 SMART MOBILITY

A concepção de *Smart Mobility* tem como princípios a flexibilidade, a eficiência, a integração, tecnologias limpas e segurança. A flexibilidade está associada a oferta de modos de transportes aos viajantes, de forma que este possa realizar a melhor escolha para cada situação. Este princípio se correlaciona com o princípio da integração, que define que toda rota é planejada porta a porta, independentemente do modo de transporte utilizado e, também, com o da eficiência, o qual indica que a realização da viagem deve ocorrer com mínima interrupção e no menor tempo possível. Outros princípios orientam para o uso de tecnologias de transporte limpas (zero emissões) e a busca pela redução de acidentes e fatalidades. (URBAN MOBILITY COMPANY, 2020)

Neste contexto, já existem recursos tecnológicos para o fornecimento de informações e auxiliares no planejamento da mobilidade nos âmbitos do transporte de passageiros: individual e coletivo. Cabe destacar que não há uma solução única. Cada espaço urbano deve buscar as melhores alternativas, considerando aspectos socioeconômicos, culturais, técnicos/operacionais, tecnológicos e ambientais.

### 4.2.1 TRANSPORTE INDIVIDUAL

A mudança no padrão da mobilidade nacional está relacionada ao processo de forte urbanização e ao crescimento de viagens urbanas motorizadas pelo qual passou o país desde meados do século passado. Como um dos desdobramentos da significativa frota de veículos individuais, observa-se um número importante de acidentes de trânsito e poluição local e global. Outro aspecto

relevante que deve ser considerado é o impacto na mobilidade urbana. O uso excessivo de veículos individuais também contribui para grandes congestionamentos, diminuindo a sustentabilidade das cidades (IPEA, 2016).

Face a esta realidade, os municípios buscam alternativas para o aumento da qualidade de vidas nos centros urbanos. O conceito de *Smart Mobility* converge com este movimento que, através de soluções econômicas equilibradas, foca em reduzir as desigualdades existentes no deslocamento populacional, com o menor impacto ambiental possível. Neste sentido são potencializadas as medidas de aumento da eficiência veicular, seja por maior autonomia ou compartilhamento, bem como o maior uso de tecnologias que diminuam as emissões de poluentes locais e globais por meio de veículos eletrificados.

A discussão sobre a inserção de veículos elétricos se insere neste contexto, embora desafios importantes como a estrutura necessária de carregamento, baterias e custo do veículo ainda necessitem ser suplantados. De toda forma, observa-se uma participação crescente de veículos comerciais elétricos na “última milha” (*last mile*) ou “último quilômetro”, quando estão dentro dos grandes centros para prestação de serviços, e em frotas cativas. Os avanços obtidos em gerenciamento de dados (*Big Data*), que une o setor elétrico e de planejamento, bem como a internet das coisas (IoT) também devem influenciar na disseminação dos veículos autônomos e compartilhados, o que aumenta a eficiência veicular. Além disso, essas tecnologias podem ser responsáveis pela melhoria no trânsito, diminuindo acidentes e otimizando o espaço ocupado por veículos leves individuais.

Outros aspectos que devem ser considerados que estão relacionados à *Smart Mobility* referem-se à combustíveis avançados, menos carbono intensivos e de origem renovável (como o biogás ou combustíveis sintéticos). Adicionalmente, a reforma a bordo veicular com o uso de etanol, conjuga um importante biocombustível nacional com os avanços da eletromobilidade.

Contudo, o grande desafio da mobilidade será aumentar a atratividade do transporte coletivo e integrar o transporte individual de forma a otimizar a mobilidade nos grandes centros, aumentando a sinergia modal.

### 4.2.2 TRANSPORTE COLETIVO

Na busca pela maior integração, eficiência e qualidade no uso do transporte coletivo em grandes cidades, diversos conceitos do *Smart Mobility* estão sendo desenvolvidos.

No que tange aos usuários, existe o desenvolvimento de aplicativos que permitem aos passageiros planejarem suas viagens conforme suas necessidades individuais com o fornecimento de informações sobre itinerários, horários, frequência e tempos de espera). Para maior adoção do transporte público em substituição ao individual, ferramentas digitais fomentam e incentivam a conexão do usuário da porta de casa ao transporte público mais próximo (“a última milha” ou “o último quilômetro”) por meio de modos de transporte não motorizados ou compartilhados (URBAN HUB, 2020). Outro

conceito importante é o de planos de mobilidade corporativa, que permitem a substituição do uso de veículos individuais de funcionários por veículos compartilhados sob demanda (FGV, 2015).

Para as operadoras de transporte e governos, novos sistemas de arrecadação, que possibilitam diversas formas de pagamento e integração de taxas entre diferentes meios de transporte para os usuários, contribuem para a melhoria na gestão, fiscalização e distribuição da arrecadação entre os diferentes operadores de transporte. Ademais, o uso de ferramentas digitais para otimizar, disponibilizar, monitorar e controlar de modo *online* os serviços de transporte são uma realidade. Eles permitem melhor gestão das frotas, com o acompanhamento e visualização dos modos de transporte por meio de georreferenciamento. Outros resultados oriundos deste monitoramento apresentam-se como benefícios sociais, econômicos e ambientais. Por sua vez, o conceito de *Big Data* já mencionado possibilita a coleta de elevado volume de dados sobre mobilidade em transportes coletivos, o que aumenta a percepção e auxilia na tomada de decisão por entes públicos ou privados, como pode ser observado na experiência londrina.

Além disso, ferramentas e conceitos da *Smart Mobility* permitem nortear o planejamento dos investimentos em transporte, seja ampliando, readequando ou concebendo estações de trens e metrô para interligar o maior número possível de opções de transporte existentes, na definição de vias expressas exclusivas para ônibus, seja promovendo o uso de novas tecnologias mais limpas, como ônibus elétricos.

### 4.3 MOBILIDADE, CIDADES INTELIGENTES E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Considerando as esferas social, econômica e ambiental, algumas medidas já identificadas nas políticas de mobilidade visam contribuir para incrementar a qualidade de vida urbana. O estabelecimento de regras para o transporte público, a definição de responsabilidades de planejamento, implementação, fiscalização e controle – que cabe ao poder público e aos cidadãos – bem como a definição de financiamento para estes fins são partes importantes da estratégia de melhoria da mobilidade. Iniciativas para a promoção de mudanças na matriz de transporte de passageiros também são relevantes. Neste sentido, avaliar o real custo social da utilização de cada um dos modos de transporte e, em especial, do uso de transporte individual se faz necessário para que a política proposta seja equilibrada e justa (MC, 2005).

Uma vez que os diferentes meios de transporte disputam o mesmo espaço, deve-se pensar em como consorciar os diversos modos de forma a beneficiar o cidadão. Neste sentido, nas cidades inteligentes, o conceito de urbanismo sustentável abrange a melhor utilização do espaço público, equilibrando os aspectos social, econômico e ambiental.

O conceito de transição energética está usualmente associado a mudanças na estrutura da matriz energética, o que pode trazer desdobramentos para outros setores. Neste contexto, mesmo que ocorram mudanças na matriz de transporte com o

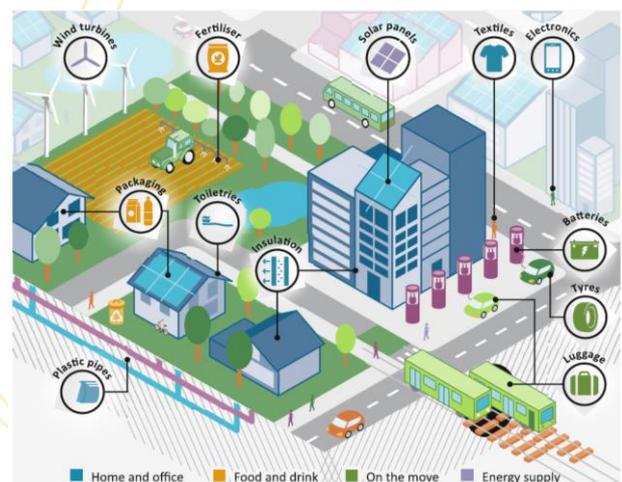
uso de modos de transporte convencionais e menos energointensivos, a eletromobilidade configura-se como um ponto relevante. É esperada que a nova transição energética evolua no sentido de uma economia de uma economia de baixo carbono, incrementando a eficiência no uso das diferentes fontes de energia e substituindo, progressivamente, recursos energéticos com maiores intensidade de carbono e pegada ambiental por aqueles com menores emissão de gases de efeito estufa (GEE) e impacto ao meio ambiente. Embora o ritmo de sua entrada nos transportes e a predominância das novas rotas sejam incertezas críticas, impactando as diversas cadeias energéticas e seus fornecedores de bens e serviços, sua entrada é inexorável. O tempo desta mudança é de difícil definição, e não é esperado que a entrada de veículos elétricos ocorra de forma rápida. Este processo deverá ser progressivo e longo, e a eletrificação passará inicialmente pela hibridização dos automóveis (EPE, 2019).

## 5. CONSIDERAÇÕES

### 5.1 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA AS EMPRESAS DE O&G

A cidade inteligente atual apresenta preocupação especial com seus cidadãos, o clima e resiliência, um lugar onde o crescimento econômico e questões socioambientais evoluam conjuntamente.

Sejam classificadas como inteligentes ou sustentáveis, as cidades caminham rumo à transição energética para economia de baixo carbono, onde a geração de energia limpa se torna cada vez mais competitiva e apresenta participação crescente nas matrizes energéticas. Os painéis fotovoltaicos são crescentemente utilizados para geração de energia de forma distribuída nas cidades. No setor de transportes, a eletromobilidade será o fator importante na nova transição energética, um *game changer* (EPE, 2019). Adiciona-se a maior eficiência veicular, o uso de novos biocombustíveis e de *Big Data* na busca de soluções para este segmento. O uso do plástico, principalmente de uso único, vem passando por restrições regulatórias que visam reduzir seu impacto no meio ambiente. Todas estas questões, trazem grandes desafios para a indústria de petróleo e gás atual.



**FIGURA 3: DIMENSÕES DAS CIDADES INTELIGENTES**FONTE: IEA (2018<sup>9</sup>)

No entanto, o ritmo de implementação de cidades inteligentes depende de fatores como a disseminação de infraestrutura de informação e comunicação, planejamento urbano, financiamento e governança. O ritmo de entrada da eletromobilidade nos transportes e a predominância das novas rotas tecnológicas veiculares, por exemplo, são incertezas críticas que impactam diversas cadeias energéticas e industriais e suas partes interessadas (incluindo fornecedores de bens e serviços): automotiva, petrolífera, bioenergia, eletricidade, transportes, cidades, consumidores e cidadãos (EPE, 2019).

Assim, não é possível prever precisamente o tempo em que ocorrerá estas transformações e impactos nas cadeias de petróleo e gás. De toda forma, deverá haver uma longa coexistência entre as fontes anteriores e a que as substitui, pois, o processo desta transição é complexo (BP, 2018). Os derivados de petróleo ainda desempenharão papel de destaque nas próximas décadas. Dentre as diversas fontes que compõem a matriz primária, o gás natural figura como o principal combustível neste processo, não somente pela migração para uma economia de baixo carbono, mas também pela ampla base e expansão contínua do GNL e aumento da disponibilidade global de gás natural (BP, 2018).

No contexto de cidades inteligentes e da transição energética, as empresas de O&G necessitarão adaptar e ampliar seu portfólio, com mudanças em seus modelos de negócio. DELOITTE (2019). Assim, a indústria de O&G se vem se transformando em uma indústria de energia, ofertando não apenas petróleo, seus derivados e gás natural, mas também outras fontes de energia e serviços de infraestrutura, como de mobilidade elétrica. Será necessário encontrar caminhos competitivos para ofertar fontes de baixo teor de carbono e menor pegada ambiental.

Acredita-se que haverá uma progressiva migração da *expertise* que compõe a indústria petrolífera no sentido de suportar o uso de fontes renováveis e reduzir a pegada ambiental da indústria de O&G. A elevada competência técnica construída ao longo da Era do Petróleo poderá ser direcionada para promover a eficiência energética, o uso de renováveis e tecnologias de remoção de carbono (CCUS, Nature Based Solutions, etc.), como já vem ocorrendo em alguma medida em empresas de petróleo e gás natural como a Shell, BP, Equinor, Total e a própria Petrobras (ainda que nos últimos anos, tenha focado mais no core business de E&P), entre outras. A indústria eólica com a expansão do seu uso *offshore*, bem como a maré motriz, energia das ondas e a energia térmica dos oceanos pode se apropriar dos conhecimentos adquiridos para plataformas de exploração, como a dinâmica dos oceanos e das correntes marinhas (EPE, 2019).

A mudança para atuação que abranja um *mix* de gás, gás natural liquefeito (GNL) e renováveis tem sido um tema comum. Para atender à demanda global de energia, todas as fontes de energia serão necessárias para equilibrar o futuro econômico e ambiental. Essa transição energética deverá contar com um delicado equilíbrio entre fornecimento de energia, uso

ambiental e retorno do investimento. Embora seja um desafio de longo prazo entregar de forma sustentável as necessidades de energia do mundo com retornos atraentes, é um dos desafios desta indústria (ACCENTURE ENERGY, 2019).

**Indústria Petroquímica**

A combinação de uma economia global crescente, aumento da população e desenvolvimento tecnológico se traduzirá em uma demanda crescente por produtos petroquímicos. Estes estão se tornando o maior impulsionador do consumo global de petróleo e devem responder por mais de um terço do crescimento da sua demanda até 2030 e quase metade até 2050 (IEA, 2018).

Além dos produtos críticos para o nosso dia a dia (plásticos, fertilizantes, embalagens, roupas, dispositivos digitais, equipamentos médicos, detergentes ou pneus), os petroquímicos também são encontrados em muitas partes do sistema energético moderno, incluindo painéis solares, pás de turbinas eólicas, baterias, isolamento térmico de edifícios e peças de veículos elétricos. Estes equipamentos estão diretamente relacionados com o conceito de cidades inteligentes, principalmente no que diz respeito às tecnologias de geração de energia limpa, aumento da eficiência dos sistemas, combinação de combustíveis alternativos e eletrificação.

Dentre os principais desafios do crescimento do setor petroquímico, referentes aos processos de produção, uso e descarte, estão os desafios climáticos, a emissão de gases poluentes e poluição da água. No entanto, há alternativas tecnológicas que podem reduzir estes impactos, tais como a captura, utilização e armazenamento de carbono, processos catalíticos e uma mudança do carvão para o gás natural. Algumas das oportunidades mais econômicas para tais tecnologias pode ser encontrado no setor químico, o que explica seu papel de liderança entre opções escaláveis para reduzir as emissões (IEA, 2018).

Dentre os petroquímicos, o plástico é o mais conhecido e sua demanda ultrapassou todos os outros materiais a granel (como aço, alumínio ou cimento), quase dobrando desde o início do milênio. Atualmente, os Estados Unidos, a Europa e outras economias avançadas usam até 20 vezes mais plástico e até 10 vezes mais fertilizantes que a Índia, e outras economias em desenvolvimento per capita, ressaltando o enorme potencial de crescimento em todo o mundo.

Apesar da restrição crescente no uso único do plástico e do aumento da reciclagem deste produto no âmbito das cidades inteligentes, principalmente em cidades da Europa, Japão e Coreia, o aumento do consumo nos países em desenvolvimento deverá mais que compensar a possível redução de demanda advinda destes esforços. Um dos fatores para o aumento do consumo do plástico é a dificuldade de encontrar alternativas para este produto e para outros petroquímicos.

No cenário *Clean Technology* da IEA (2018), a demanda de petróleo relacionada ao consumo de plástico ultrapassa a do transporte rodoviário de passageiros até 2050. O aumento na participação de produtos de petróleo mais leves necessários para matérias-primas petroquímicas pode representar desafios

para o refino, cujos processos estão atualmente configurados para produzir produtos pesados e leves.

## Referências

- ACCENTURE ENERGY, 2019. Key trends from energy industry conferences around the globe. Março, 2019. Disponível em: <https://accntu.re/3720EnL>. Acesso em: 12 nov. 2019.
- Agência Brasil (2019). Governo lança programa de estratégias para cidades inteligentes. Agência Brasil. Disponível em: <https://bit.ly/2qULAbu>. Acessado em 14 nov. 2019.
- ANP 2017
- ANP 2015
- Ascimer (2015). Assessing Smart City Initiatives for the Mediterranean Region. Smart Cities: Concept & Challenges Deliverable, 1A, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/34ZYdky>. Acessado em 13 nov. 2019.
- A.T. Kearney (2019). The Global Cities Index and Outlook reveal the world's top-performing cities and those with the most potential. Disponível em: <https://bit.ly/2NZEQT1>. Acessado em 18 nov. 2019.
- BID (2016). Banco Interamericano de Desenvolvimento. Caminho para as Smart Cities: da Gestão Tradicional para a Cidade, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2CIhmew>. Acessado em 13 nov. 2019.
- BNDES (2018<sup>a</sup>). Cartilha das Cidades. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Disponível em: <https://bit.ly/2qRTpP8>. Acessado em 8 nov. 2019.
- BNDES (2018<sup>b</sup>). Desafios para as Cidades Inteligentes. Apresentação realizada por Eduardo Kaplan Barbosa do Departamento de Tecnologia da Informação e Comunicação. São Paulo, 18 de agosto de 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2pZnH2F>. Acessado em 8 nov. 2019.
- British Petroleum – BP (2018) “BP Energy Outlook – 2018 edition”. Disponível em: [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de\\_ch/PDF/Energy-Outlook-2018-edition-Booklet.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/Energy-Outlook-2018-edition-Booklet.pdf). Acessado em 27 mar. 2019.
- Camargo, A. (2015). Cadernos FGV PROJETOS: Cidades Inteligentes e Mobilidade Urbana - Ano 10, nº24 ISSN: 19844883. Disponível em: <https://bit.ly/2Qe5BV1>. Acessado em 12 nov. 2019.
- CITInova (2019). O que é o CITInova? CITInova. Disponível em: <https://bit.ly/2Qx8vEC>. Acessado em 18 nov. 2019.
- Costa, C. A., Matos, A. C. (2015). *Cidades Inteligentes: o desafio do desenvolvimento sustentável*. Cadernos FGV PROJETOS: Cidades Inteligentes e Mobilidade Urbana - Ano 10, nº24 ISSN: 19844883. Disponível em: <https://bit.ly/2Qe5BV1>. Acessado em 12 nov. 2019.
- DELOITTE (2015). Smart Cities - How rapid advances in technology are reshaping our economy and Society. Version 1.0, November 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2qRSvll>. Acessado em 8 nov. 2019.
- DELOITTE (2018). *The Future of the global energy market – circular economy in energy industry*. Deloitte, Finland. October 4, 2018. Disponível em: [https://www.valmet.com/globalassets/media/events/2018/cus-tomer-days-2018/energy/the-future-of-the-global-energy-market\\_riikka-poukka.pdf](https://www.valmet.com/globalassets/media/events/2018/cus-tomer-days-2018/energy/the-future-of-the-global-energy-market_riikka-poukka.pdf) Acesso em 16 dez. 2019.
- DELOITTE (2019) 2020 oil, gas, and chemical industry outlook. Copyright © 2019 Deloitte Development LLC. All rights reserved. Disponível em: <https://bit.ly/2MuNXK1>. Acesso em: 12/11/2019
- EC (2019) – European Comission: “Smart cities. Cities using technological solutions to improve the management and efficiency of the urban environment”. Disponível em: <https://bit.ly/36ROBKp>. Acessado em 12 nov. 2019.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019). The concept of a circular economy. Disponível em: <https://bit.ly/2ruhXhX>. Acesso em 28 nov. 2019.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015) Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition. Novembro, 2015. Ellen MacArthur Foundation. Disponível em: <https://bit.ly/2ZvdWq3>. Acesso em 29 nov. 2019.
- EUROPEAN COMMISSION (2019). Report from the Commission to The European Parliament, on the implementation of the Circular Economy Action Plan. Bruxelas, 2019.
- EPE (2019). Eletromobilidade e Biocombustíveis. Documento de Apoio ao PNE 2050 - Estudos de Longo Prazo. Rio de Janeiro: EPE. Acessado em: 12 nov. 2019
- EPE (2019). Recursos Energéticos Distribuídos. Documento de Apoio ao PNE 2050. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acessado em: 12 nov. 2019
- EPE (2020). Estudos internos. Plano Nacional de Expansão de Energia – PDE2030. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acessado em: 11 jan. 2020
- FGV PROJETOS (2018). Cidades Sustentáveis. Março 2018. Ano 13, nº 32 e ISSN 19844883. Disponível em: <https://bit.ly/357mTaV>. Acessado em 12 nov. 2019.
- GEISSDOERFER M., SAVAGET P., BOCKEN N., HULTINK E. (2017) The Circular Economy - A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production 143 (2017) 757e768.
- GHISELLINI P., CIALANI C., ULGIATI S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production 114 (2016) 11 e 32.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. (2007). Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology. Disponível em: <https://bit.ly/34VvH3t>. Acessado em 13 nov. 2019.
- Gomyde, A. (2019). As cinco camadas das cidades inteligentes. Rede Brasileira de Cidades Inteligentes & Humanas (RBCIH). Disponível em: <https://bit.ly/36XRmKg>. Acessado em 12 nov. 2019.
- IEA (2018<sup>a</sup>). The Future of Petrochemicals - Towards more sustainable plastics and fertilisers. Disponível em: <https://bit.ly/33RJ2cU>. Acessado em 14 nov. 2019.
- IEA (2018<sup>b</sup>). The Future of Petrochemicals – Executive Summary. International Energy Agency. Disponível em: <https://bit.ly/2CKPWos>. Acessado em 14 nov. 2019.
- IESE (2019). IESE Cities in Motion Index 2019. IESE Business School University of Navarra. Disponível em: <https://bit.ly/370TQaG>. Acessado em 11 nov. 2019.

IMCI (2019). Disponível em: <https://bit.ly/2ptn29d>. Acessado em 12 nov. 2019.

IMD (2019). IMD Smart City Index 2019. IMD World Competitiveness Center's Smart City Observatory in partnership with Singapore University of Technology and Design. Disponível em: <https://bit.ly/2QcHJRJ>. Acessado em 12 nov. 2019.

IPEA (2018). ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Disponível em: <https://bit.ly/375sRL1>. Acessado em 13 nov. 2019.

IPEA (2016). Texto para Discussão. MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: CONCEITOS, TENDÊNCIAS E REFLEXÕES. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2194.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2194.pdf). Acessado em 20 dez. 2020

ITAMARATY (2019). Comissão Nacional para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (CNOODS). Ministério das Relações Exteriores. Disponível em: <https://bit.ly/355LUDj>. Acessado em 13 nov. 2019.

JOURNAL OF PETROLEUM TECHNOLOGY (2019). JPT Circular Economy: A Sustainability Innovation and Solution for Oil, Gas, and Petrochemical Industries. Sami Alnuaim, 2019 SPE President | 01 May 2019. Disponível em: <https://bit.ly/36SpqXh>. Acesso em: 12/11/2019.

Manville, C., Cochrane, G., Cave, J., Millard, J., Pederson, J. K., Thaarup, R. K., Liebe, A., Wissner, M., Massink, R., & Kotterink, B. (2014). Mapping smart cities in the UE, European Parliament. Directorate-General for Internal Policies. Policy Department: Economic and Scientific Policy A. Disponível em: <https://bit.ly/32J7A6G>. Acessado em 13 nov. 2019.

MC (2005)

MDR (2019). Programa Capacidades. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Disponível em: <https://bit.ly/2pi2Syt>. Acessado em 14 nov. 2019.

MGI (2018). McKinsey Global Institute: SMART CITIES: DIGITAL SOLUTIONS FOR A MORE LIVABLE FUTURE, June 2018. Disponível em: <https://mck.co/2Qic7ui>. Acessado em 8 nov. 2019.

MMF (2019). What is the GPCI? Institute for Urban Strategies. The Mori Memorial Foundation (MMF). Disponível em: <https://bit.ly/2r0zNsu>. Acessado em 18 nov. 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL (2019). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. ONU Brasil. Disponível em: <https://bit.ly/376LWp>. Acessado em 13 nov. 2019.

OECD/IEA (2018) International Energy Agency. The Future of Petrochemicals Towards more sustainable plastics and fertilisers Together Secure Sustainable plastics and fertilizers. Disponível em: <https://bit.ly/35V7Gdu>. Acessado em 12 de nov. 2019.

OICS (2019). Quem somos. Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://bit.ly/2CRdyb5>. Acessado em 18 nov. 2019.

PRIETO-SANDOVAL V., JACA, C., ORMAZABAL M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. Journal of Cleaner Production 179 (2018) 605e615. Disponível em: <https://bit.ly/2EVFlrQ>. Acesso em 28 nov. 2019.

RBCIH (2019). O que é a Rede? Rede Brasileira de Cidades Inteligentes & Humanas (RBCIH). Disponível em: <https://bit.ly/2r3fgmX>. Acessado em 18 nov. 2019.

RBCIH (2016). Brasil 2030: CIDADES INTELIGENTES E HUMANAS. Rede brasileira de cidades inteligentes e humanas. Disponível em: <https://bit.ly/2CyCzHX>. Acessado em 12 nov. 2019.

Rizzon, F., Bertelli, J., Matte, J., Graebin, R. E., Macke, J. (2017). Smart City: um conceito em construção. Revista Metropolitana de Sustentabilidade. Volume 7, nº3. ISSN: 2318-3233. Disponível em: <https://bit.ly/2XaBKyt>. Acessado em 12 nov. 2019.

SCI (2019). IMD-SUTD Smart City Index 2019. Disponível em: <https://bit.ly/34RyWcb>. Acessado em 12 nov. 2019.

SEBRAE (2017). REFERÊNCIAS INTERNACIONAIS – Cidades Inteligentes. Unidades de Assessoria Institucional – Sebrae Nacional. Disponível em: <https://bit.ly/32UmvLn>. Acessado em 18 nov. 2019.

Sokolov, A.; Veselitskaya, N.; Carabias, V.; Yildirim, O. (2019). Scenario-based identification on key factors for smart cities development policies. Technological Forecasting & Social Change 148 (2019).

STAHEL, W. (2016) The Circular Economy. Nature, vol 531. Macmillan Publishers Limited. Disponível em: <https://go.nature.com/351uA1E>. Acesso em 28 nov. 2019.

TOMIĆ, T., SCHNEIDER, D. (2018). The role of energy from waste in circular economy and closing the loop concept – Energy analysis approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews 98 (2018) 268–287. Disponível em: <https://bit.ly/39iMsby>. Acesso em 28 nov. 2019.

WEF (2019). “Smart cities: world’s best don’t just adopt new technology, they make it work for people”. Disponível em: <https://bit.ly/33Hg6Eo>. Acessado em 11 nov. 2019.

WINQUIST, E., RIKKONEN, P., PYYSAINEN, J., VARHO, V. (2019). Is biogas an energy or sustainability product? – Business opportunities in the Finnish biogas branch. Journal of Cleaner Production. Volume 233, outubro 2019, página 1344-1354.

Wood Mackenzie (2019). *How can a circular plastics economy grow the oil industry*. Disponível em: <https://bit.ly/2Q5s7Ov>. Acessado em 18 dez. 2019.

UNHABITAT E COLAB (2019). Consulta Cidades Sustentáveis. Outubro de 2018 a fevereiro de 2019. Nairóbi, 2019. Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos 2019. Disponível em: <https://bit.ly/36WQYLa>. Acessado em 12 nov. 2019.

UNITED FOR SMART SUSTAINABLE CITIES - U4SSC (2017). Connecting cities and communities with the Sustainable Development Goals. Suíça, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/35JGXke>. Acessado em 18 dez 2019.



**Empresa de Pesquisa Energética**

 /epe.brasil

 epe\_brasil

 @epe\_brasil

 /EPEBrasil