

CENÁRIOS SHELL

Sky



ALCANÇANDO AS METAS
DO ACORDO DE PARIS



2050

2055

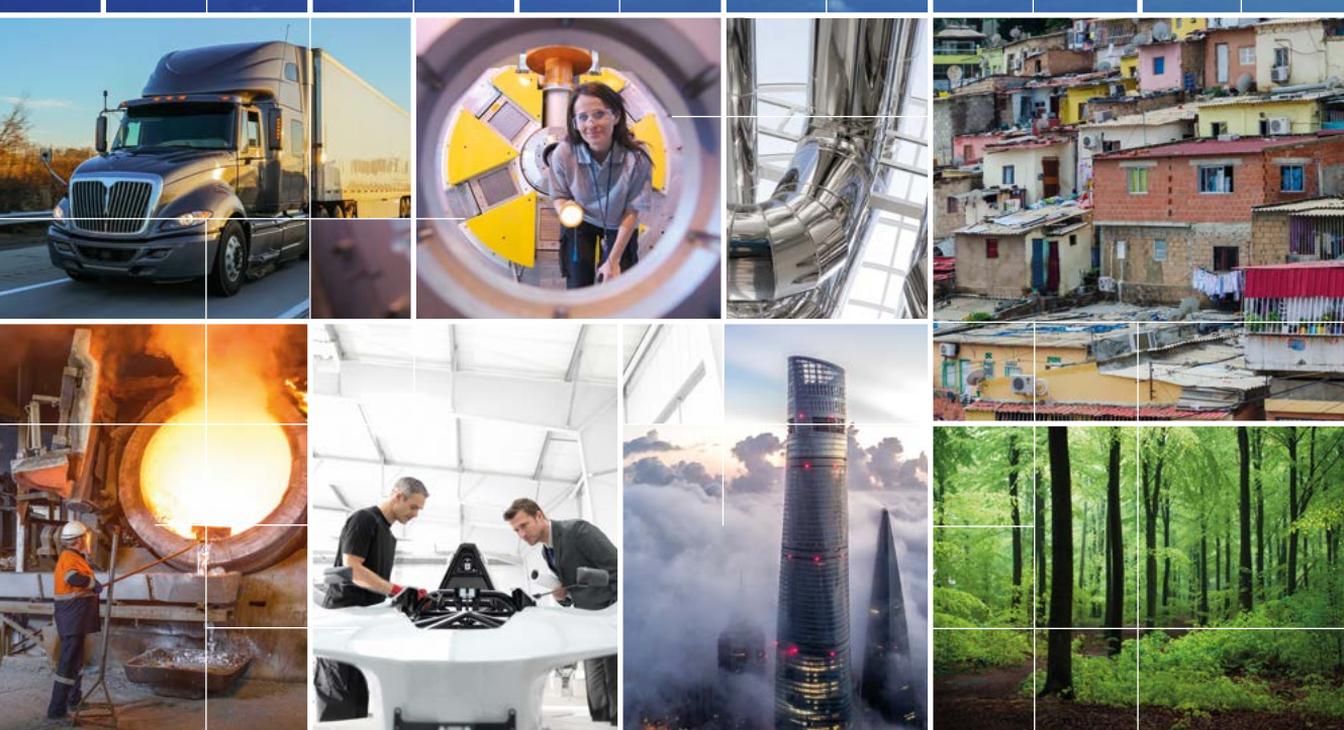
2060

2065

2070

2075

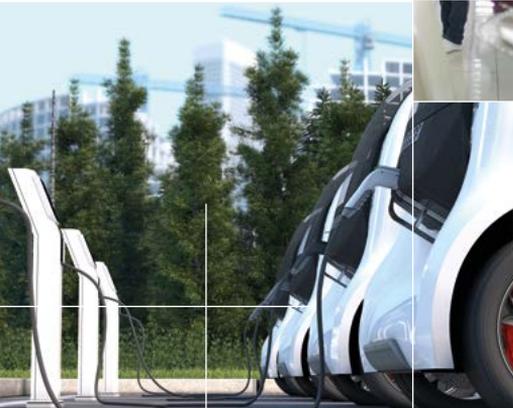
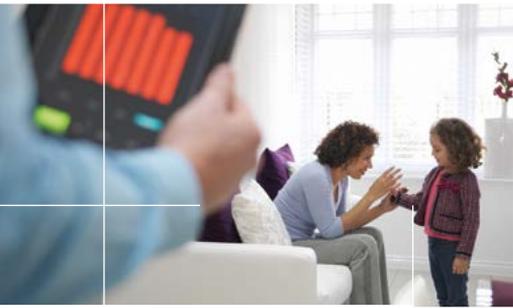
20





CONTEÚDO

Capítulo 1 Bem abaixo de 2°C: A ambição de Paris	3
Capítulo 2 Desafios de um cenário do século 21	11
Capítulo 3 De <i>Mountains (Montanhas)</i> e <i>Oceans (Oceanos)</i> para <i>Sky (Céu)</i>	19
Capítulo 4 Um cenário para o sucesso – <i>Sky</i>	25
Capítulo 5 Transformações dos setores	35
Capítulo 6 Alcançando o equilíbrio	53
Capítulo 7 A realização do Acordo de Paris	63





CAPÍTULO 1
**BEM ABAIXO DE 2°C:
A AMBIÇÃO DE PARIS**

1. BEM ABAIXO DE 2°C: A AMBIÇÃO DE PARIS

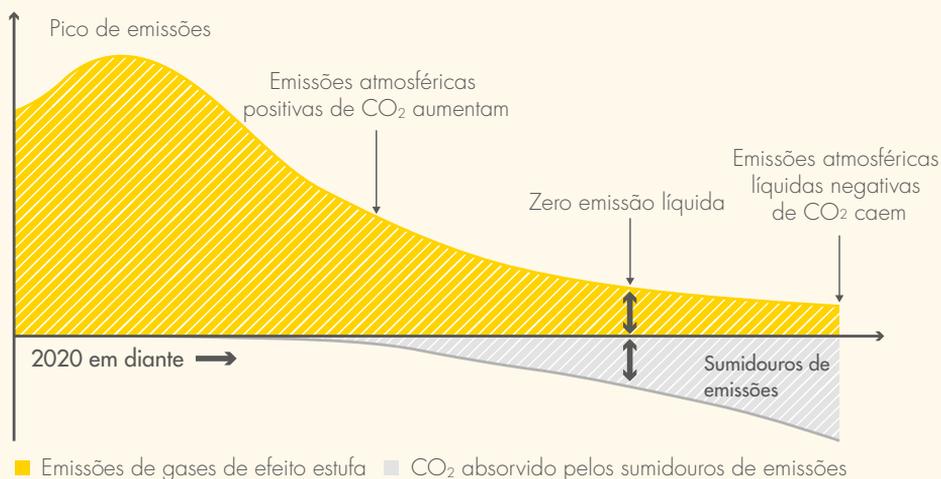
O Acordo de Paris de 2015 sobre mudanças climáticas é um documento importante. Em apenas 25 páginas, apresenta um esquema pragmático para resolver um dos problemas mais difíceis enfrentados pela sociedade. O objetivo do Acordo é manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e buscar esforços para limitar o aumento da temperatura para 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Para alcançar esta meta, o Acordo prevê um “equilíbrio entre as emissões antropogênicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa na segunda metade do século”. Essa ênfase no “equilíbrio” – ou na também chamada “zero emissão líquida” –, é um desenvolvimento essencial, pois reconhece que o aquecimento da temperatura da superfície está diretamente relacionado ao total acumulado de

dióxido de carbono (CO₂) emitido na atmosfera. Se o total acumulado de emissões ultrapassar um determinado limite, pode ser necessário ir além da zero emissão líquida para alcançar emissões “líquidas negativas”, onde se extrai mais CO₂ da atmosfera do que se libera. Nesse caso, a temperatura média global da superfície pode cair.

4

O ACORDO DE PARIS PREVÊ UM PICO INICIAL NAS EMISSÕES E, EM SEGUIDA, UMA QUEDA PARA ZERO EMISSÃO LÍQUIDA DURANTE A SEGUNDA METADE DO SÉCULO.



Fonte: Diagrama Shell

A implementação do Acordo está em andamento, com a maioria dos governos nacionais respondendo mais rapidamente ao chamado para aprovação e entrega das primeiras contribuições nacionais. Novas alianças também se formaram em torno de mecanismos de precificação de carbono liderados pelos governos e da substituição do carvão, mas a tarefa está apenas no início. Espera-se pelo sucesso, mas ele não é certo.

O contexto do caminho a ser seguido

Nossa publicação de 2016, **A Better Life with a Healthy Planet (Uma Vida Melhor com um Planeta Saudável)**, reconheceu o desejo de grande parte da população mundial de ter uma vida melhor, o que significa que a demanda por energia aumentará em países relativamente pobres, ainda que possa cair em países relativamente ricos. Dentro desse contexto de uma vida melhor para todos, destacamos as mudanças-chave em cada setor principal da economia – indústria, transporte, construção e geração de energia – que são necessárias para fornecer um mundo de zero emissão líquida de CO₂ a partir da energia.

Embora saibamos, em geral, quais as principais condições e mudanças nos sistemas energéticos são necessárias para obtermos zero emissão líquida, seria útil traçar um caminho para alcançar essa meta até 2070 – um prazo compatível com a manutenção do aumento na temperatura média global bem abaixo de 2°C. Uma vez que o futuro é imprevisível, sobretudo quando se trata de sistemas sociais mundiais complexos ao longo de um extenso período envolvendo tecnologia, políticas governamentais e comportamento do consumidor, a melhor abordagem para explorar esse caminho é por meio do uso de cenários.

Os cenários energéticos para os caminhos a serem seguidos

Os cenários são histórias alternativas do futuro que nos ajudam a aprender lições úteis para o presente. Não são propostas de políticas – não argumentam sobre o que deve ser feito. Tampouco são previsões – o que será feito, pela sociedade, pela indústria ou por alguém. Eles apresentam descrições do que poderia ser feito – caminhos plausíveis para o futuro e ideias úteis ao longo do caminho.

Há mais de duas décadas, o cenário da Shell tem incorporado o problema das mudanças climáticas, com diferentes cenários mostrando vários níveis de sucesso ao abordar este crítico problema mundial. Mas com os típicos prazos futuristas de 25 anos na década de 90 e chegando a 50 anos no início da década de 2000, a plena resolução do problema das mudanças climáticas por meio da transformação completa do sistema energético mundial nunca foi claramente visível. Essa transformação sempre foi, e continua sendo, uma jornada medida em



No Sky, a taxa de queda nas emissões globais após 2035 ultrapassa a taxa de crescimento que vimos para este século – um resultado extremamente elevado.

gerações, e agora está se estendendo para o final deste século.

Em 2013, a Shell publicou seus novos cenários **New Lens Scenarios** compostos por duas perspectivas denominadas **Mountains** (Montanhas) e **Oceans** (Oceanos). Pela primeira vez, os cenários apresentavam um modelo de sistemas energéticos até 2100, permitindo que transições de longo prazo fossem vistas em sua totalidade. Embora explorem contextos sócio-políticos bem diferentes, os cenários mostram que a aplicação persistente e difundida de estruturas políticas voltadas ao CO₂, inclusive a mudança em larga escala para energias renováveis e uso extenso de CCS (captura e armazenamento de carbono), levaria ao índice de zero emissão líquida no sistema energético. Contudo, nos dois cenários, esse resultado é alcançado em torno do final do século, o

que significa que estão aquém da meta de temperatura do Acordo de Paris.

Um olhar além de Mountains e Oceans

Com base nas lições aprendidas com esse trabalho anterior e análises adicionais, agora apresentamos um possível caminho para a descarbonização da economia mundial com a meta social de alcançar zero emissão líquida a partir do uso de energia até 2070 – um cenário chamado “**Sky**” (Céu).

O **Sky** reconhece que uma simples extensão dos esforços atuais, sejam mandados relacionados à eficiência, modestos impostos sobre o carbono ou apoios às energias renováveis, não é suficiente para a escala de mudança necessária. As transformações relevantes nos sistemas energéticos e naturais exigem a aplicação simultânea de ações políticas

Apresentando o Sky – um cenário ambicioso para manter o aumento na temperatura média global bem abaixo de 2°C.

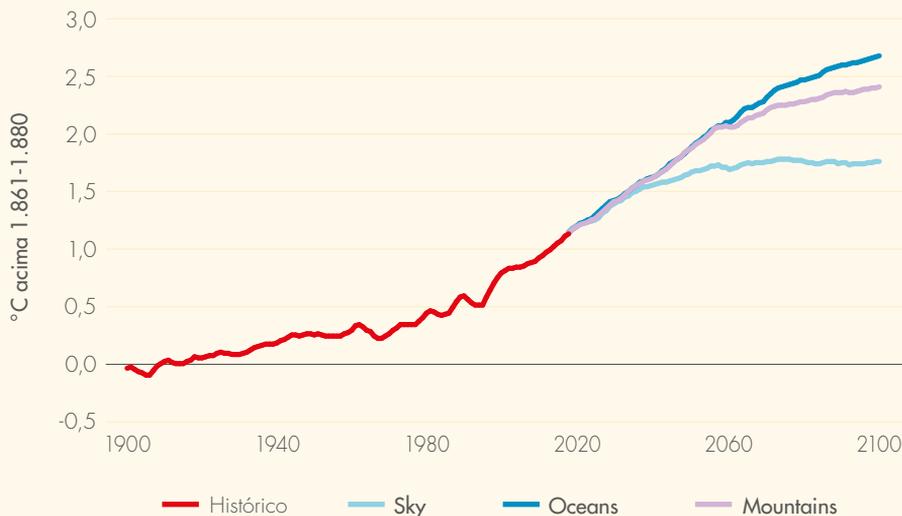
O cenário Sky requer uma complexa combinação de impulsionadores que se reforçam mutuamente e que são rapidamente acelerados pela sociedade, pelos mercados e pelos governos.

De agora até 2070 –

1. Uma mudança na mentalidade do consumidor significa que as pessoas escolhem, preferencialmente, opções de baixo carbono e alta eficiência para atender suas necessidades de serviços energéticos.
2. Uma grande mudança na eficiência do uso de energia leva a ganhos superiores às tendências históricas.
3. Os mecanismos de precificação do carbono são adotados pelos governos no mundo todo ao longo da década de 2020, levando a um custo significativo do CO₂ embutido nos bens e serviços adquiridos pelo consumidor.
4. A taxa de eletrificação de energia final mais do que triplica, com a geração de eletricidade global alcançando um nível de quase cinco vezes o nível atual.
5. Novas fontes de energia crescem até cinquenta vezes, com a energia primária de fontes renováveis ofuscando os combustíveis fósseis na década de 2050.
6. Construção de 10.000 instalações de grande porte para captura e armazenamento de carbono, em comparação com as pouco mais de 50 em operação em 2020.
7. Zero desmatamento líquido é alcançado. Além disso, uma área do tamanho do Brasil sendo reflorestada oferece a possibilidade de limitar o aquecimento a 1,5°C, a ambição final do Acordo de Paris.



COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS SHELL – AUMENTO NA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL DA SUPERFÍCIE



Nota: O Programa Conjunto sobre Ciência e Política de Mudanças Globais do MIT modelou os impactos climáticos do **Sky** em comparação com os impactos dos cenários **Mountains** (Montanhas) e **Oceans** (Oceanos). Todas as séries são médias móveis de cinco anos.

Fonte: MIT

voltadas ao clima e o emprego de novas tecnologias inovadoras em larga escala dentro de ambientes políticos governamentais que incentivem fortemente o investimento e a inovação. Nenhum fator único é suficiente para alcançar a transição. O cenário **Sky**, ao contrário, fundamenta-se em uma complexa combinação de impulsionadores que se reforçam mutuamente e que são rapidamente acelerados pela sociedade, pelos mercados e pelos governos.

Como os desafios climáticos são provenientes do acúmulo total de gases de efeito estufa na atmosfera, existe uma infinidade de caminhos possíveis para a redução anual das emissões nas próximas décadas, os quais podem gerar um resultado consistente com a ambição de Paris. É claro que alguns desses caminhos são muito mais plausíveis do que outros – não podemos esperar que a economia mundial seja transformada por completo da noite para o dia.

O **Sky** começa com a atual estrutura dos setores econômicos e políticas governamentais e a capacidade de mudança que existe hoje. Assim sendo, o cenário pressupõe uma capacidade de desenvolvimento e ajuste muito agressivos, mas plausíveis, dos compromissos políticos durante os dois primeiros ciclos de revisão de cinco anos incorporados no acordo de Paris. Além desse prazo, existem incertezas naturalmente maiores sobre como as políticas e a tecnologia podem ser desenvolvidas e implementadas na esfera mundial. Portanto, o cenário é impulsionado progressivamente apenas pela meta ambiciosa de zero emissão líquida até 2070, levando em total consideração as características da escala, substituição tecnológica e investimento nos vários setores de diferentes economias nacionais.



Um cenário impulsionado por metas como esse, às vezes é denominado de “normativo”. Ao adotar uma abordagem fundamentada na atual realidade do sistema energético, mas combinado com uma meta específica de longo prazo, pretendemos que o **Sky** seja um cenário ambicioso e uma ferramenta realista para considerações práticas nos dias de hoje.

Além disso, publicaremos extensos conjuntos de dados quantitativos para o cenário **Sky**, de modo que as próprias pessoas possam inspecionar e fazer mais uso dessas informações.

O Acordo de Paris tem enviado um sinal ao mundo; as mudanças climáticas são um problema sério que os governos estão determinados a resolver. Até 2070, é possível que haja o surgimento de um sistema energético muito diferente. Pode ser um sistema que traga energia moderna para toda a população mundial sem fornecer um legado climático ao qual a sociedade não consiga se adaptar prontamente. Essa é a essência do cenário **Sky**.



2015

2020

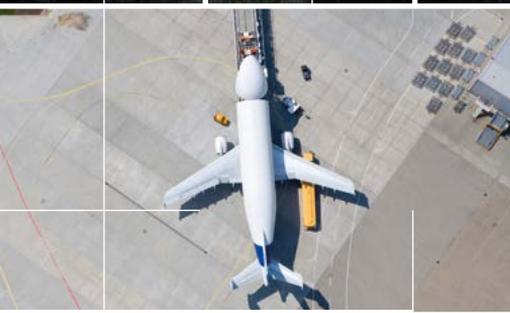
2025

2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

20

CAPÍTULO 2
**DESAFIOS DE UM CENÁRIO DO
SÉCULO 21**

2. DESAFIOS DE UM CENÁRIO DO SÉCULO 21

Desafio: A demanda energética está aumentando

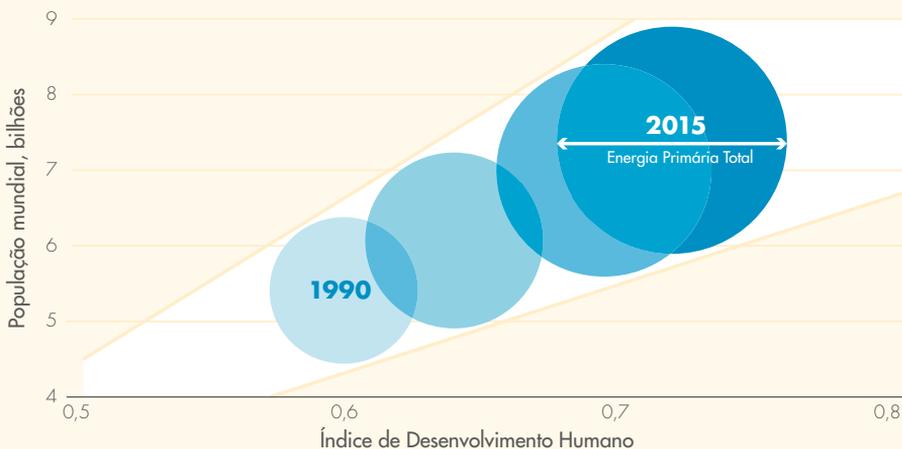
A energia permite o funcionamento de toda a economia. É necessária e usada em todos os lugares – casas, fábricas, lojas, escolas, transporte pessoal, transporte de cargas, saneamento, sistemas de abastecimento de água, agricultura e construção civil. É um ingrediente vital e oculto na fabricação e entrega de quase todos os produtos e serviços que a sociedade moderna acredita que nunca se esgotará.

No decorrer do século 20, a demanda global por energia aumentou dez vezes, na medida em que a população mais do que triplicou. Outros fatores que levaram ao aumento dessa demanda foram o crescimento e o desenvolvimento econômico, a mobilidade estendida tornando-se comum e o surgimento de uma ampla variedade de novos serviços de energia, desde a refrigeração no início do século até serviços relacionados a dados no final do século. Mas no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, vários bilhões de pessoas ainda

estão em busca de uma vida melhor por meio do acesso muito necessário à água limpa, saneamento, nutrição, saúde e educação. A energia é um viabilizador-chave dessas necessidades básicas.

Com base na renda per capita, a variação do uso de energia primária hoje vai de 20 gigajoules (GJ) em países como o Quênia, a cerca de 300 GJ nos EUA. Atualmente, a média global é de quase 80 GJ, mas espera-se um aumento, já que o acesso quase universal aos serviços modernos de energia foi conquistado durante este século.

A DEMANDA POR ENERGIA CRESCE COM A POPULAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO



Fonte: Análise Shell, IEA, ONU

Novos serviços de energia também aparecerão no século 21, desde o uso extensivo de ambientes artificiais nos quais as pessoas vivem e trabalham confortavelmente a trilhões de dispositivos conectados dentro da “Internet das Coisas”. Um exemplo inicial são as conexões que as pessoas fazem por meio de viagens internacionais, as quais já duplicaram nas duas primeiras décadas deste século (medidas em termos de chegadas de voos internacionais). O crescimento da população, o desenvolvimento extremamente necessário, novos serviços de energia e o aumento no uso de serviços existentes contribuirão para o crescimento da demanda por energia.

Desafio: A eficiência pode ter consequências inesperadas

Sem limitar a disponibilidade dos serviços de energia, o crescimento da demanda por energia pode sofrer uma desaceleração por meio da rápida melhoria na eficiência dos mesmos. Embora esse acontecimento seja inevitável, pode ser uma faca de dois gumes. Por um lado, o aumento na eficiência tem sido um dos motores do crescimento econômico do século 20, com a queda consistente dos custos de fabricação e do consumo de energia de aparelhos, como o ar condicionado, nas últimas décadas. Mas por outro lado, esses custos menores também têm gerado um aumento na utilização pelos consumidores.



Em 2016, a propriedade de veículos na América do Norte e na Europa variava de 500 a 800 a cada 1.000 pessoas. Na China o índice era de 154 a cada 1.000 pessoas e na Índia, 42 a cada 1.000, com crescimento inevitável.

Por exemplo, o serviço de energia mais recente para a obtenção de grandes ganhos na eficiência é a iluminação, com as lâmpadas de LED substituindo rapidamente as incandescentes, halógenas e fluorescentes. Mas agora há evidências claras de crescimento nos serviços de iluminação, mesmo em cidades onde se acreditava que a saturação da iluminação tivesse sido alcançada. A publicidade está sendo transformada com lâmpadas de LED, passando de expositores de ruas para outdoors gigantes.

Desafio: O carvão continua popular

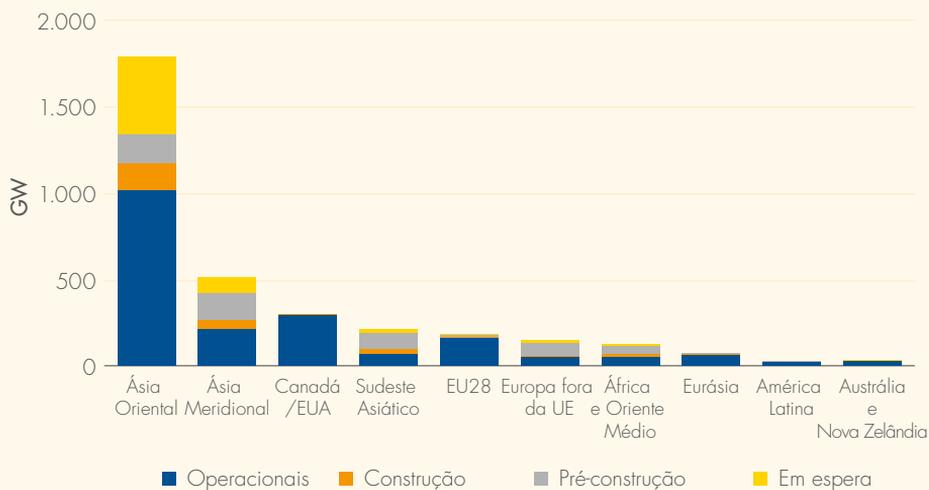
Para limitar o aumento de CO₂ na atmosfera será necessário reduzir o uso de combustíveis fósseis e passar a utilizar outras fontes de energia, além de CCS. Mas as novas fontes de energia terão o desafio de se expandir com a agilidade suficiente para atender o rápido crescimento da demanda e a necessidade de se abandonar as fontes emissoras existentes o quanto antes. O crescimento elevado e contínuo da demanda também leva ao aumento nos preços da energia, que, por sua vez, pode motivar a maior extração de carvão, petróleo e gás e desmotivar a transformação ou modificação da infraestrutura existente.

Embora o mundo esteja começando a agir, o avanço significativo com vistas ao objetivo de Paris será desafiador, em parte devido ao carvão. Enquanto as fontes renováveis e o gás natural dominam cada vez mais o setor energético nos países desenvolvidos, reduzindo as emissões, o uso de carvão está aumentando em algumas economias, uma vez que é necessária uma nova capacidade de geração para o desenvolvimento. O Vietnã é uma dessas economias, com várias estações elétricas a carvão de grande porte sendo construídas em 2018.

Uma realidade desoladora do início do século 21 é a falta de um caminho claro de desenvolvimento para uma economia emergente que não inclua o carvão. O carvão é uma fonte relativamente fácil de se conseguir e utilizar. Requer pouca tecnologia para sua obtenção, mas tem muito a oferecer, como eletricidade,



CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DO CARVÃO



Nota: O carvão continua popular. Novos projetos fora da China poderiam ultrapassar os em construção no país.

Fonte: Global Coal Plant Tracker, janeiro de 2017, endcoal.org

aquecimento, indústria e, sobretudo, a fundição para a fabricação de ferro. Embora os painéis solares fotovoltaicos e o vento ofereçam uma distribuição de eletricidade limpa, beneficiando as residências, atualmente, a eletricidade por si só não é capaz de atender a demanda pela urbanização e industrialização rápida, incluindo a construção de cidades e a fabricação de produtos, como automóveis e aparelhos eletrodomésticos.

Desafio: Algumas partes do sistema energético são “persistentes”

Nem todas as economias alcançarão o índice de zero emissão líquida ao mesmo tempo. A UE e a América do Norte precisarão considerar essa questão como um objetivo para a década de 2050, em parte para equilibrar os países que chegarem a este ponto bem depois no século. Como um país avançado dentro de uma região avançada, a Suécia já está de olho em 2045. Mas é uma tarefa difícil alcançar zero emissão líquida em quase qualquer economia industrial na década de 2050. A aparente falta de soluções de baixo carbono para a

aviação, navegação e fabricação de cimento, para alguns processos químicos, fundição, fabricação de vidro e outros significa que setores importantes da economia industrial não alcançarão rapidamente zero emissões. Mesmo o setor de energia elétrica ainda pode precisar do apoio da geração térmica convencional em 2050.

Desafio: Algumas tecnologias estão “paradas”

Atualmente algumas tecnologias promissoras estão paradas, sendo o hidrogênio talvez o exemplo mais notável. Com seu surgimento neste século, foi visto como o combustível do futuro no transporte rodoviário, mas agora o hidrogênio tem sido ofuscado pelo desenvolvimento de veículos elétricos à bateria. Mais recentemente, o hidrogênio foi proposto como uma possível solução para os processos industriais que precisam de calor intenso, o setor metalúrgico (onde o carvão é a base), aquecimento residencial e transporte aéreo, onde o armazenamento de bateria é muito limitado devido ao peso.

Outro setor onde o avanço tem se mostrado mais lento do que originalmente previsto é o da tecnologia de biocombustíveis, que tem o potencial de fornecer combustíveis essenciais, de alta densidade energética e baixo carbono para certas aplicações de transporte. A produção de biocombustível também poderia ser desenvolvida como uma rota para as emissões negativas, como vemos nos EUA hoje, onde a CCS foi implementada em uma usina de bioetanol.

Desafio: As transformações de sistemas são imprevisíveis e demandam tempo

Limitar o aquecimento em linha com o Acordo de Paris significa alcançar zero emissão líquida até 2070, daqui a pouco mais de 50 anos. Em termos de transição de energia, uma década corresponde a um piscar de olhos, e um século pode ser tipicamente visto como um punhado de grandes transformações, embora nem todas sigam os caminhos esperados.

Com a chegada do século 20, o carro elétrico era a escolha preferida nas estradas norte-americanas, mas em 1920, o mundo se encontrava em meio à era do motor à combustão com o Ford Modelo T. Quatro bilhões de carros mais tarde, a tecnologia essencial permanece basicamente a mesma, mas com a mobilidade elétrica surgindo novamente.

Mesmo a própria eletricidade, que continua transformando nosso mundo, não tem sido uma tecnologia de energia que experimenta avanços acelerados. A primeira rede elétrica apareceu em Nova York em setembro de 1882, há mais de 135 anos. Embora a tecnologia tenha se espalhado mundialmente e pareça ser onipresente, ela representa menos de 20% do uso de energia final hoje; portanto, 80% da energia que utilizamos hoje não é proveniente da eletricidade, mas de hidrocarbonetos fósseis e bioenergéticos. Ao longo das últimas décadas, a eletrificação da energia final tem sido relativamente morosa, em torno de 2% por década. Por exemplo, era cerca de 17% em 2005 e 19% em 2015.

Na década de 1960, parecia ser possível uma revolução na energia nuclear, mas ela estagnou completamente na década de 1990. Do mesmo modo, na década de 1960, os painéis solares fotovoltaicos começaram a aparecer





O efeito fotovoltaico (PV) foi descoberto em 1839 e posteriormente utilizado em satélites como painéis solares fotovoltaicos a partir de 1962. Quatro décadas depois, existiam somente dois GW de capacidade mundial, mas nos próximos quinze anos, essa capacidade aumentou para duzentas vezes.



em aplicações altamente especializadas, mas demorou 50 anos para passar 1% da produção de eletricidade global.

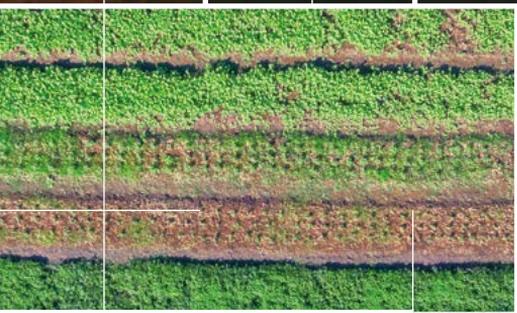
Uma razão pela qual as transformações dos sistemas demandam tempo é que o sucesso de uma transformação – de cavalos a motores de combustão internacionais, por exemplo – pode impedir o progresso da próxima. O legado de um desenvolvimento bem-sucedido é o potencial de bloqueio do recurso no qual o sistema atual foi construído. Esse potencial de bloqueio tem origem na resistência em deixar os investimentos de capital originais e perder os empregos que foram criados.

Desafio: Levando em conta o prazo de 2070, não pode haver nenhum deslize

A meta de alcançar zero emissão líquida em apenas 50 anos não dá margem para interrupção, tecnologias estagnadas, atraso no emprego, indecisões políticas ou retrocesso nacional. Ao contrário, requer uma rápida aceleração em todos os aspectos de uma transição de energia e estruturas políticas especialmente robustas com vistas às emissões. O sucesso pode ser conquistado somente por meio de um processo amplo que seja abraçado pelas sociedades, liderado por governos e levemente coordenado por organizações, como a UNFCCC, a UE, ASEAN e outras.



2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

CAPÍTULO 3

**DE MOUNTAINS (MONTANHAS)
E OCEANS (OCEANOS) PARA SKY
(CÉU)**

3. DE MOUNTAINS (MONTANHAS) E OCEANS (OCEANOS) PARA SKY (CÉU)

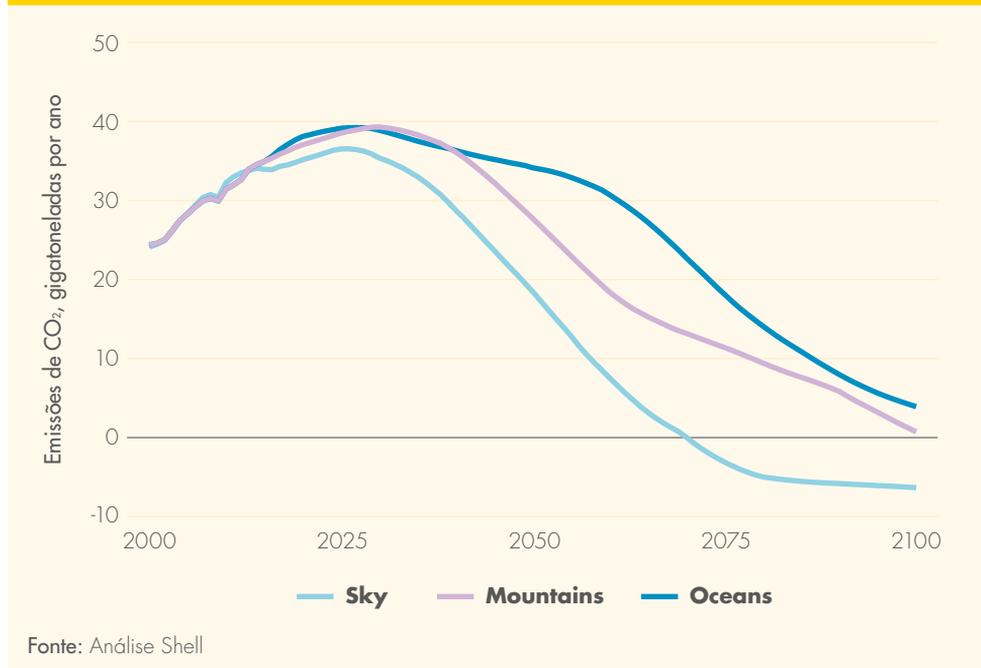
Nos cenários originais New Lens Scenarios, exploramos duas possíveis formas de desdobramento no século 21, considerando várias tendências e problemas mundiais urgentes e usando-os como “lentes” por meio das quais olhamos o mundo.

As perspectivas **Mountains** e **Oceans** apresentaram uma análise detalhada das tendências sócio-políticas atuais e suas possíveis trajetórias para o futuro, sendo **Mountains** mais liderada pelos governos com uma abordagem de cima para baixo e **Oceans** com uma abordagem mais de baixo para cima, com resultados impulsionados pelo mercado.

O Cenário **Sky** traz mais à tona a possibilidade de uma melhor colaboração multilateral para resolver os problemas climáticos e da qualidade do ar. Nesse sentido, combina os

elementos mais avançados de **Mountains** e **Oceans**. Essa abordagem colaborativa foi vista anteriormente, como no Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio. Mas a verdadeira cooperação internacional de longo prazo – com o objetivo de combinar o interesse próprio nacional com os diferentes interesses de outras nações geralmente têm desconsiderado a sociedade como uma tendência duradoura. No entanto, o Acordo de Paris está baseado em tal modelo, embora com um forte elemento de avaliação e desafio por pares.

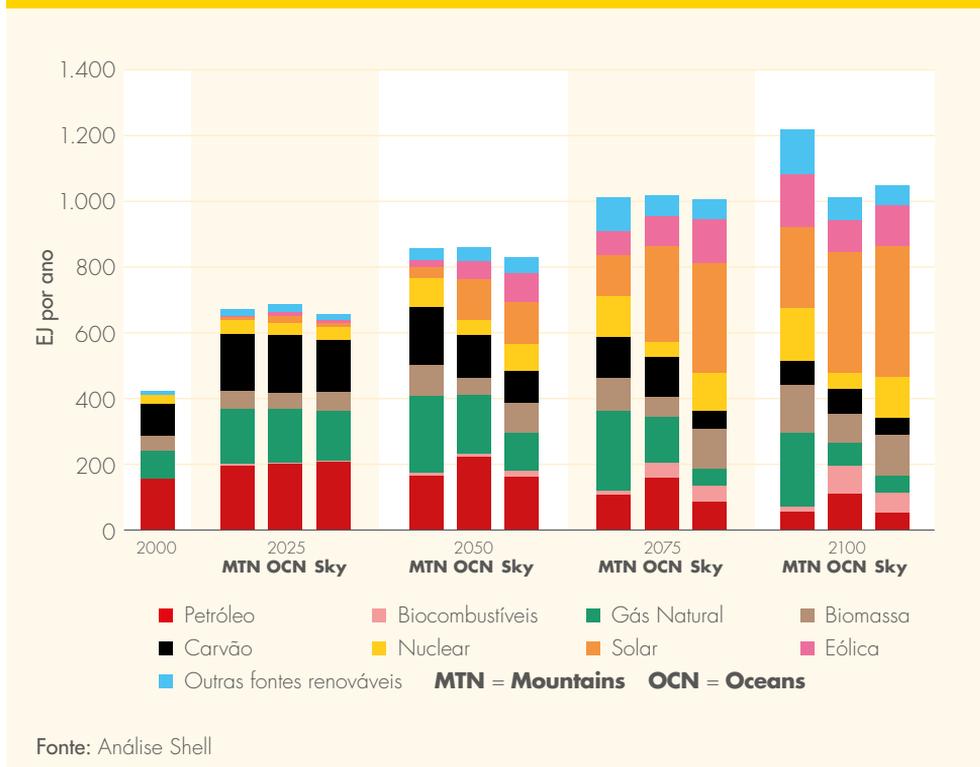
CENÁRIOS SHELL COMPARADOS – EMISSÕES DE CO₂ RELACIONADAS À ENERGIA MUNDIAL

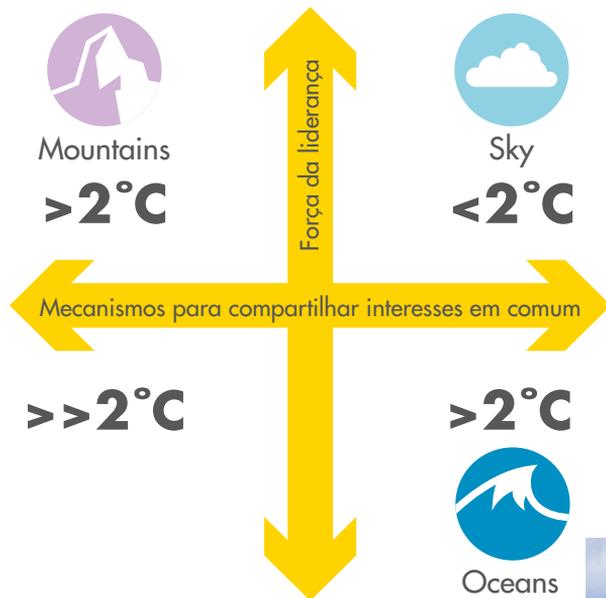


A liderança para criar uma visão compartilhada foi um elemento essencial do Acordo de Paris, conforme demonstrado nos acordos bilaterais entre vários chefes de governo nos dois anos anteriores à negociação final. Outro elemento essencial foi ouvir e responder aos que enfrentam mais riscos com as mudanças climáticas, como a Aliança de Pequenos Estados Insulares (AOSIS) com suas profundas preocupações em relação ao aumento do nível do mar. Em resposta a essas preocupações, surgiu uma “aliança de alta ambição” em Paris, que foi responsável pela incorporação de um objetivo ambicioso dentro do Acordo de Paris para limitar o aquecimento para 1,5°C.

Esses desenvolvimentos trazem a noção de uma estrutura para a resolução de problemas mundiais dentro da qual vários cenários podem ser posicionados. Essa estrutura não depende exclusivamente de tendências, como a mudança tecnológica, que apresenta um ritmo acelerado ou até mesmo arriscado em quase toda a história do século 21, mas nasce do interesse próprio de longo prazo e da forma como a sociedade ouve e reage aos problemas do dia a dia.

ENERGIA PRIMÁRIA POR FONTE NOS TRÊS CENÁRIOS





O **Sky** exige liderança e alianças de todos os setores da sociedade. O problema da mudança climática é um desafio mundial comum que requer uma solução que aborde a complexidade dos diversos interesses públicos e privados.

O cenário **Oceans** imagina um mundo onde a influência se estende longínqua e amplamente, o poder é delegado, os interesses concorrentes são ajustados e o comércio é quem dita as regras. A liderança não é forte, mas um reconhecimento crescente dos interesses comuns é uma característica do comércio. O potencial econômico é desencadeado com o emprego da tecnologia e as melhorias na eficiência impulsionados pelo motor comercial.

Em contraste, o cenário **Mountains** é um mundo com o poder do status quo bloqueado e mantido firmemente por aqueles que já são influentes. A estabilidade é altamente valorizada e os poderosos alinham os interesses para liberar recursos de forma constante e cautelosa, não apenas ditada pelas forças imediatas do mercado. O crescimento econômico é de certa forma moderado, mas a autoridade centralizada oferece a possibilidade de transformação das cidades, uma revolução em transporte e uso difundido de CCS, características que são importantes para limitar as emissões gerais.



MOUNTAINS, OCEANS E SKY: COMO SE DIFEREM NA ABORDAGEM?

O modelo e desenvolvimento do cenário **Sky** difere da metodologia aplicada nos primeiros cenários da Shell, como é o caso de **Mountains** e **Oceans**. Também difere da abordagem adotada pela maioria das organizações energéticas que desenvolveram os cenários de 2°C.

Mountains e **Oceans** tiveram seu início com uma série de workshops que buscavam identificar as principais tendências sociais que tinham o potencial de moldar o panorama do século 21. A partir desse trabalho, surgiram narrativas que formaram a base dos dois cenários. Essas narrativas foram testadas pelo modelo energético a fim de explorar completamente o impacto das tendências em cada cenário no que diz respeito ao sistema de energia. Esse modelo incluía feedback e verificações, de tal forma que houve o surgimento de um cenário plausível e consistente em que a narrativa e os números de energia permaneciam solidamente juntos. Os cenários eram abertos e não buscavam o estabelecimento de metas, assim, resultados como o aquecimento do sistema climático surgiram da 'realpolitik' dos cenários e das escolhas energéticas feitas.

Em contraste, um cenário estreito de 2°C estabelece esse nível de aquecimento como uma meta determinada desde o início, independentemente das condições políticas e sociais vigentes em qualquer momento. Em seguida, ocorre o desenvolvimento de um caminho e uma narrativa para a energia como

o resultado, e ambos podem precisar desafiar a meta para atingir o limite estabelecido para o aquecimento. Essa abordagem para a construção de um cenário é conhecida como "normativa".

Conforme observado na introdução, o Cenário **Sky** adota uma abordagem híbrida com o intuito de ser útil aos tomadores de decisão da sociedade atual. De 2018 até por volta de 2030, há um reconhecimento claro de que o potencial para mudanças dramáticas de curto prazo no sistema energético é limitado, considerando-se a base de capital instalada na economia e as tecnologias disponíveis, mesmo com a introdução de novas políticas agressivas. Mas também se presume que o período incluirá uma importante capacidade de desenvolvimento e reduções significativas nos custos de tecnologias, após os dois ciclos de cinco anos de contribuição determinados nacionalmente (NDC) do Acordo de Paris, de tal forma que após 2030, a implementação pode avançar a um ritmo acelerado para garantir o resultado bem abaixo de 2°C.



2015

2020

2025

2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

CAPÍTULO 4
**UM CENÁRIO PARA O SUCESSO –
SKY**

4. UM CENÁRIO PARA O SUCESSO – SKY

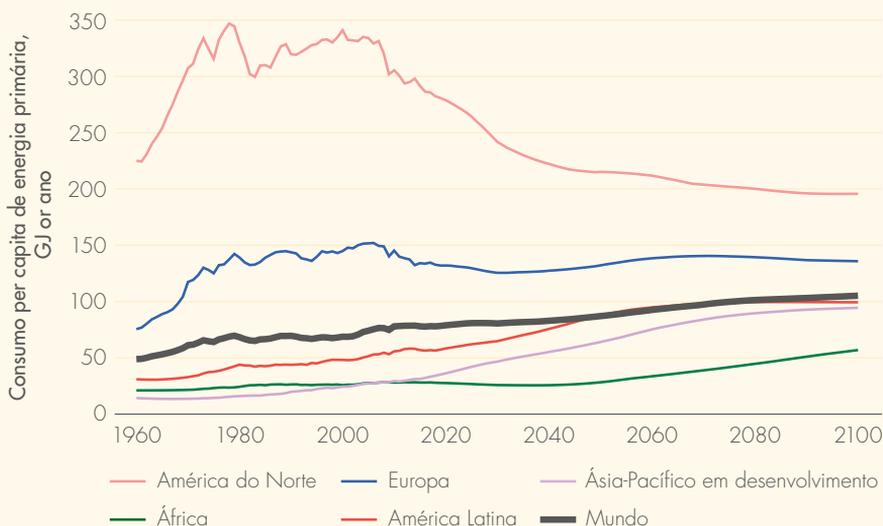
O **Sky** começa com ações realizadas na primeira década do Acordo de Paris. Os governos respondem positivamente ao ciclo rápido de avaliação, revisão e melhoria das contribuições nacionais, conforme previsto no Acordo de Paris. Antes da avaliação de 2023, há uma ampla rerepresentação das contribuições nacionais, com a notável mudança por parte da China tendo em vista o compromisso com a redução das emissões. No **Sky**, na avaliação de 2028, todas as contribuições terão sofrido melhorias radicais, com a Índia agora indicando um patamar de emissões na década de 2030.

Durante a década de 2020 no **Sky**, o avanço da redução nas emissões é relativamente lento ao mesmo tempo que a capacidade é desenvolvida. Mas no início de 2030, a velocidade da transformação é acelerada à medida que os principais desafios de sustentabilidade do século 21 são conquistados.

Sucesso: Energia para todos

No **Sky**, a população mundial cresce de 7,5 bilhões em 2017 para 10 bilhões em 2070, período após o qual experimenta uma estabilização. A demanda por energia também cresce ao longo do século, com um patamar próximo a partir de 2080. É importante

UMA VIDA MELHOR PARA TODOS



Nota: Hoje, é possível alcançar uma vida melhor para todos com uma média de 100 GJ per capita. No fim do século, os ganhos de eficiência significam que é possível alcançar uma vida melhor com números ainda mais baixos.

Fonte: Análise Shell, IEA (dados históricos)

ressaltar que o uso per capita permanece relativamente baixo no **Sky** em virtude dos ganhos de eficiência sem precedentes para os serviços de energia, notando-se uma triplicação aproximada da eficiência ao longo do século. Como resultado, a demanda por energia primária per capita converge para quase 100 GJ ao ano – bem abaixo dos números observados hoje nas economias industrializadas, mas um nível que oferece uma ampla diversificação de serviços de energia necessários para uma melhor qualidade de vida. Por exemplo, um refrigerador moderno com eficiência energética consumirá pouco mais de um GJ por ano.

Com uma população mundial de 10 bilhões de pessoas no final do século e com o aumento do uso de energia per capita, o sistema energético no **Sky** aproximadamente dobra seu tamanho de 2010.

Sucesso: Lidando com o carvão

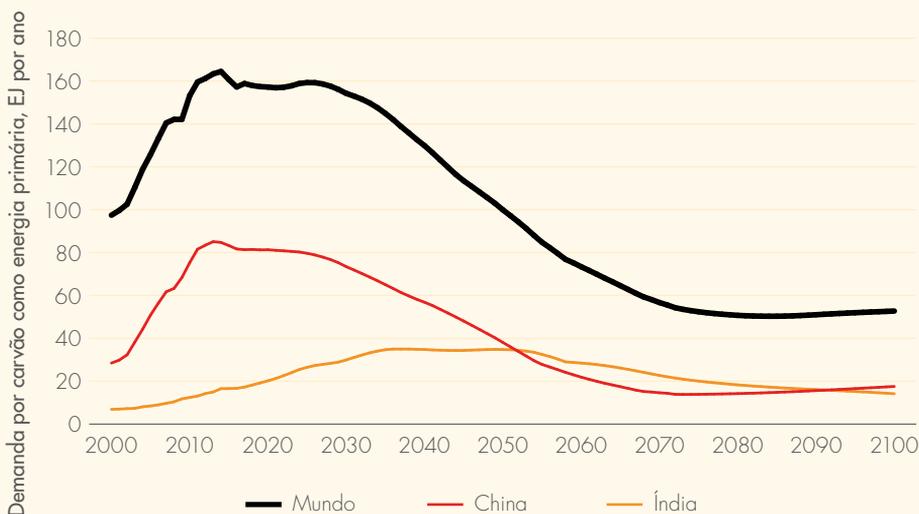
Na Conferência da ONU sobre o Clima, a COP23, em 2017, 25 países e estados formaram uma aliança para abandonar o uso do carvão, a Powering Past Coal Alliance, prometendo eliminar progressivamente a tradicional energia proveniente desta matriz em suas jurisdições. Nos próximos anos, no **Sky**, um número significativo de outros países se junta à Aliança tendo como resultado a queda na geração de energia proveniente do carvão em todas as partes do mundo. No Vietnã e até mesmo na Índia, as novas construções para geração de energia proveniente do carvão terminam antes de 2030. Na década de 2030, as energias solar e eólica atendem ao aumento na demanda por eletricidade.

O impulso da China para acelerar a eliminação do carvão no cenário **Sky** significa que o pico de demanda mundial por este combustível



No **Sky**, as emissões absolutas de CO₂ atingem o pico antes de 2040 na Índia, país mais populoso do mundo até então.

O PICO DO USO DO CARVÃO FICOU PARA TRÁS NO **SKY**, COM UMA QUEDA RÁPIDA NO CONSUMO TOTAL DO INÍCIO DA DÉCADA DE 2030 EM DIANTE



Fonte: Análise Shell, IEA (dados históricos)

fóssil está atrás de nós, com um rápido declínio adiante, embora o carvão continue importante em alguns países asiáticos e o carvão metalúrgico continue sendo um insumo crítico para a fundição. Em 2070, a participação do carvão como energia primária cai para cerca de 6%, abaixo dos 25% em 2020.

Sucesso: Transformação de tecnologias persistentes e estagnadas

Na primeira década após o Acordo de Paris, as emissões de CO₂ dos sistemas energéticos se encontram bloqueadas pelas tecnologias atuais, capital social e resistência da sociedade às mudanças. Mas em 2030, no **Sky**, o sistema estará se abrindo, desencadeado na década de 2020 pelos avanços significativos nas tecnologias energéticas e pela escala de fabricação, levando a uma queda dos preços para os consumidores e empresas. Isso é facilitado pela intervenção dos governos em pesquisa e desenvolvimento e pela importante fase inicial de comercialização, com grandes ganhos na tecnologia de armazenamento de bateria, CCS e biocombustíveis avançados.

Sucesso: Os governos aumentam o ritmo

No **Sky**, os governos mundiais implementam estruturas legislativas para impulsionar a eficiência e reduzir rapidamente as emissões de CO₂, forçando tecnologias energéticas mais antigas e promovendo a competição para implementação de novas tecnologias à medida que alcançam a eficiência de custos.

Por exemplo, no âmbito nacional e subnacional, os governos aceleram a transição energética por meio da adaptação dos mercados de energia às novas tecnologias renováveis e estabelecendo preço ou restrição significativos para as emissões de carbono a partir da geração térmica convencional. A legislação em muitas jurisdições obriga as estações elétricas a produzirem 100% de energia renovável até a década de 2040.

Eletrodomésticos, construções comerciais e residenciais e transporte pessoal são todos alvos da eficiência agressiva ou de normas de emissão. A criação de zonas de baixa emissão por governos locais obriga a retirada de

NO SKY, OS CUSTOS COM BATERIA CAEM RAPIDAMENTE, EM PARTE DEVIDO AO FINANCIAMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS PELO GOVERNO



Fonte: Análise Shell, Bloomberg New Energy Finance (dados históricos)

veículos mais antigos, e em muitas cidades os veículos elétricos se tornam os substitutos naturais em razão de sua conveniência e da ampla disponibilização de pontos de recarga. A oferta de dinheiro por parte dos governos para que as pessoas se livrem de seus equipamentos antigos e adquiram novos acelera a substituição de equipamentos ultrapassados, e menos eficientes nas residências e escritórios. Mas a ação mais importante realizada pelos governos em todo o mundo voltadas às emissões é a adoção de mecanismos implícitos ou explícitos de precificação de carbono.

Desde Paris, as abordagens de precificação de carbono lideradas pelos governos têm ganhado força. Na cúpula One Planet Summit de 2017, vários países e estados das

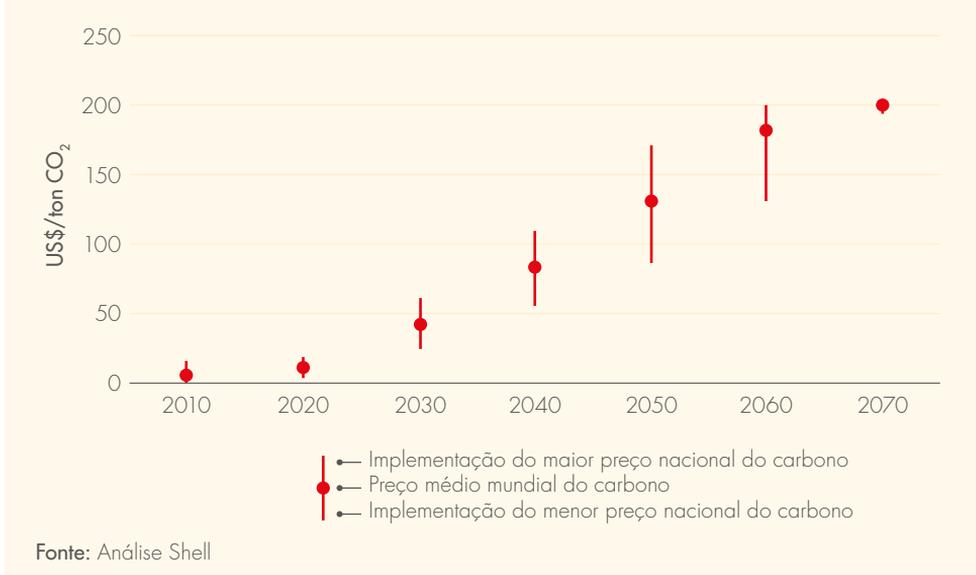
Américas se comprometeram a ampliar o uso desses mecanismos. Durante o mesmo ano, a China anunciou o lançamento de seu sistema nacional de comercialização de emissões, começando com o setor energético. E no início de 2018, Califórnia, Quebec e Ontário estavam operando em sistemas vinculados de comercialização de emissões.



No Sky, os painéis solares fotovoltaicos mantêm sólidas taxas médias de crescimento de 20% ao ano, ultrapassando a capacidade instalada de 6.500 GW em 2035. Isso cobrirá uma área de 100.000 km², equivalente a uma área do tamanho da Coreia do Sul. A partir de então até 2070, será necessário adicionar quase 1.000 GW todos os anos, quando a dimensão global da energia solar fotovoltaica se aproximar da área da Espanha.



GOVERNOS ADOTAM RAPIDAMENTE MECANISMOS DE PRECIFICAÇÃO DO CARBONO EM TODO O MUNDO NA DÉCADA DE 2020; HARMONIZAÇÃO TOTAL É ALCANÇADA EM 2070



No **Sky**, a precificação do carbono liderada por governos surge como um conjunto de impostos, encargos e mecanismos de mercado. De forma surpreendente e rápida, governos chegam a um senso comum sobre o nível adequado do custo das emissões

Em 2030, no **Sky**, a precificação do carbono liderada por governos é estabelecida com firmeza na OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e na China, com a Rússia e Índia formando a segunda leva de países que entram para os mercados de carbono. A implementação mundial da precificação do carbono pelos governos é concluída até o fim da década de 2030, com todos os sistemas atingindo um limite confiável para detenção das emissões.

No **Sky**, a precificação do carbono apresenta outras duas consequências importantes. Primeiro, acelera a adoção de CCS para grandes emissores ao passo que impulsiona a implementação de tecnologias para emissões líquidas negativas, como a bioenergia com CCS.

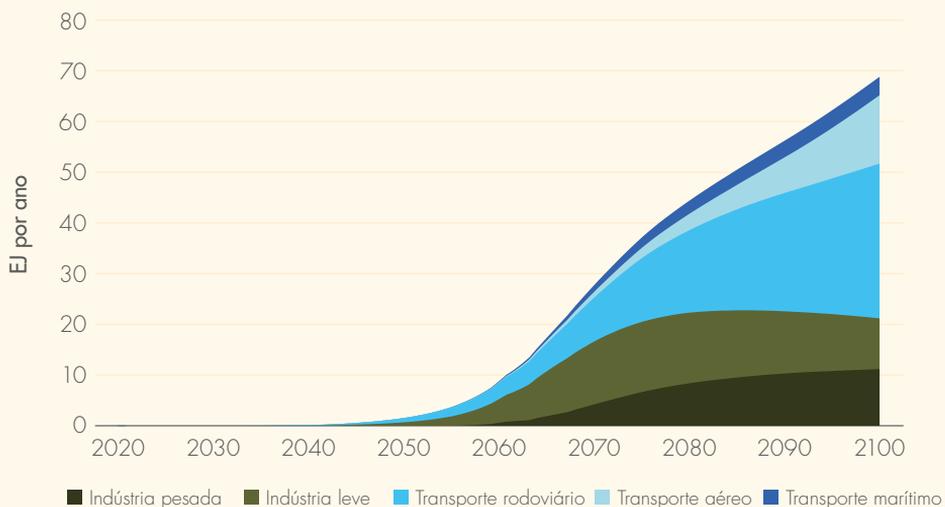
Segundo, a precificação do carbono motiva a redução das emissões em toda a economia, sobretudo por meio da melhoria na eficiência energética, gerando, assim, mudanças significativas no comportamento do consumidor e do produtor.

Sucesso: Surgimento de novos sistemas energéticos

Sistemas de eletrólise de hidrogênio onshore e offshore também começam a surgir em todo o mundo no **Sky**. Inicialmente, eles fazem uso do crescente excedente de pico de eletricidade de fontes renováveis, mas depois se tornam sistemas de carga básica totalmente integrados. Como resultado, após 2040, o hidrogênio surge como um importante transportador de energia, crescendo continuamente para responder por 10% do consumo final de energia mundial até o final do século.

À medida que o uso de petróleo e gás cai ao longo do tempo no **Sky**, instalações redundantes são reaproveitadas para armazenamento e transporte de gás hidrogênio. De fato, o

NO **SKY**, O HIDROGÊNIO SURGE COMO UM IMPORTANTE TRANSPORTADOR DE ENERGIA APÓS 2040, SOBRETUDO PARA A INDÚSTRIA E TRANSPORTE



Nota: Em 2100, o hidrogênio supre um terço de toda a demanda por energia para o transporte e mais de 10% da energia industrial

Fonte: Análise Shell



O hidrogênio cresce como transportador de energia a partir de 2040 no **Sky**, com uma capacidade mundial de 800 milhões de toneladas por ano em 2070 – mais do que o dobro do mercado atual de GLP.



crescente fornecimento de GNL nas primeiras décadas do século permitiu que o hidrogênio ganhasse terreno e se desenvolvesse em escala. Uma imensa construção de redes de eletricidade e tubulações de hidrogênio garante o fornecimento seguro e acessível de eletricidade e hidrogênio, o que estimula a mudança nos setores, sobretudo no transporte e na indústria.

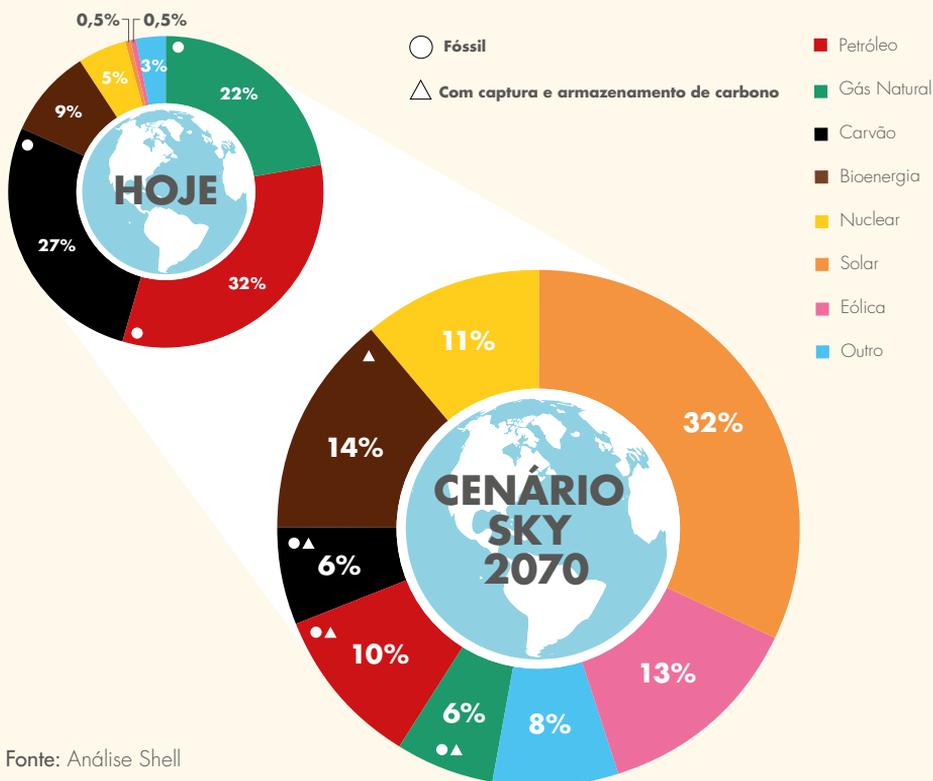
Embora a aviação e a navegação continuem dependendo do óleo cru nas primeiras décadas do **Sky**, o combustível sintetizado a partir da biomassa começa a ganhar cada vez mais espaço no mercado. O **Sky** presume que isso se dá na forma de biocombustíveis líquidos, em virtude de sua maior flexibilidade, mas se

a conversão para o metano for mais bem-sucedida, então isso pode se dar igualmente na forma de biogás comprimido ou liquefeito para usos náuticos, ferroviários e rodoviários. Nos estágios mais avançados da transição, o hidrogênio surge como um novo transportador de energia, sobretudo para a aviação.

Sucesso: Trabalhos de Paris

No **Sky**, o Acordo de Paris é bem-sucedido, impulsionado pela implementação governamental de políticas energéticas em todos os níveis paralelamente à ação agressiva na economia mundial, inclusive no setor energético.

EM UM MUNDO DE ZERO EMISSÃO LÍQUIDA EM 2070, A ENERGIA SOLAR, BIOENERGIA E ENERGIA EÓLICA DOMINAM O FORNECIMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS ENQUANTO O PETRÓLEO CONTINUA SENDO A MAIOR FONTE DE ENERGIA FÓSSIL.



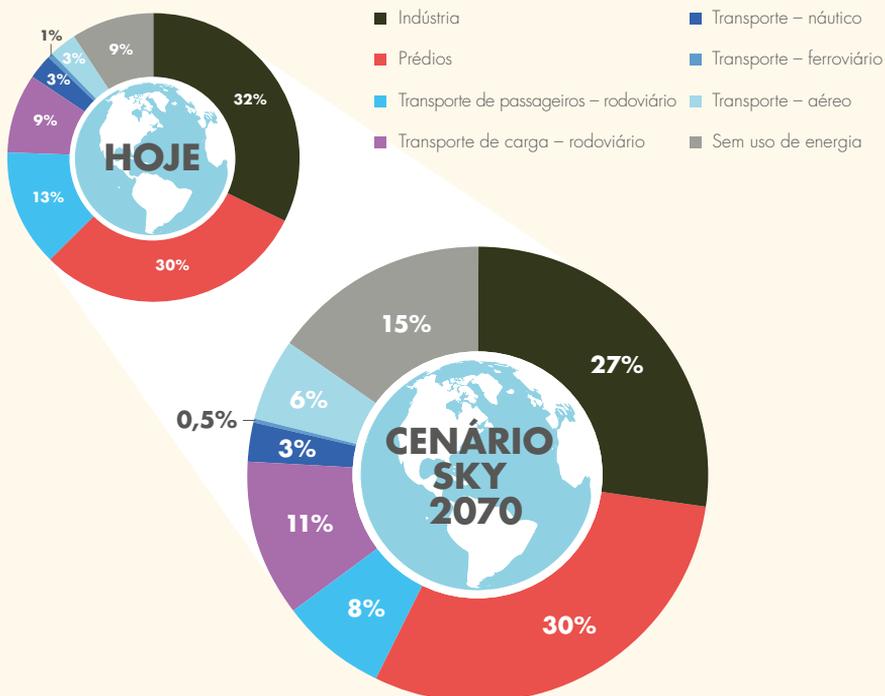
Fonte: Análise Shell

Essas e outras ações similares se multiplicam rapidamente. No início, a liderança governamental é responsável pela velocidade da mudança, mas, cada vez mais, a pressão dos colegas é uma forma de impulsionar a resposta à estrutura de transparência incorporada no Acordo de Paris. Novas tecnologias se tornam cada vez mais competitivas no que diz respeito aos custos à medida que aumenta sua utilização em massa. O mecanismo de ajuste de cinco anos funciona no Cenário Sky.

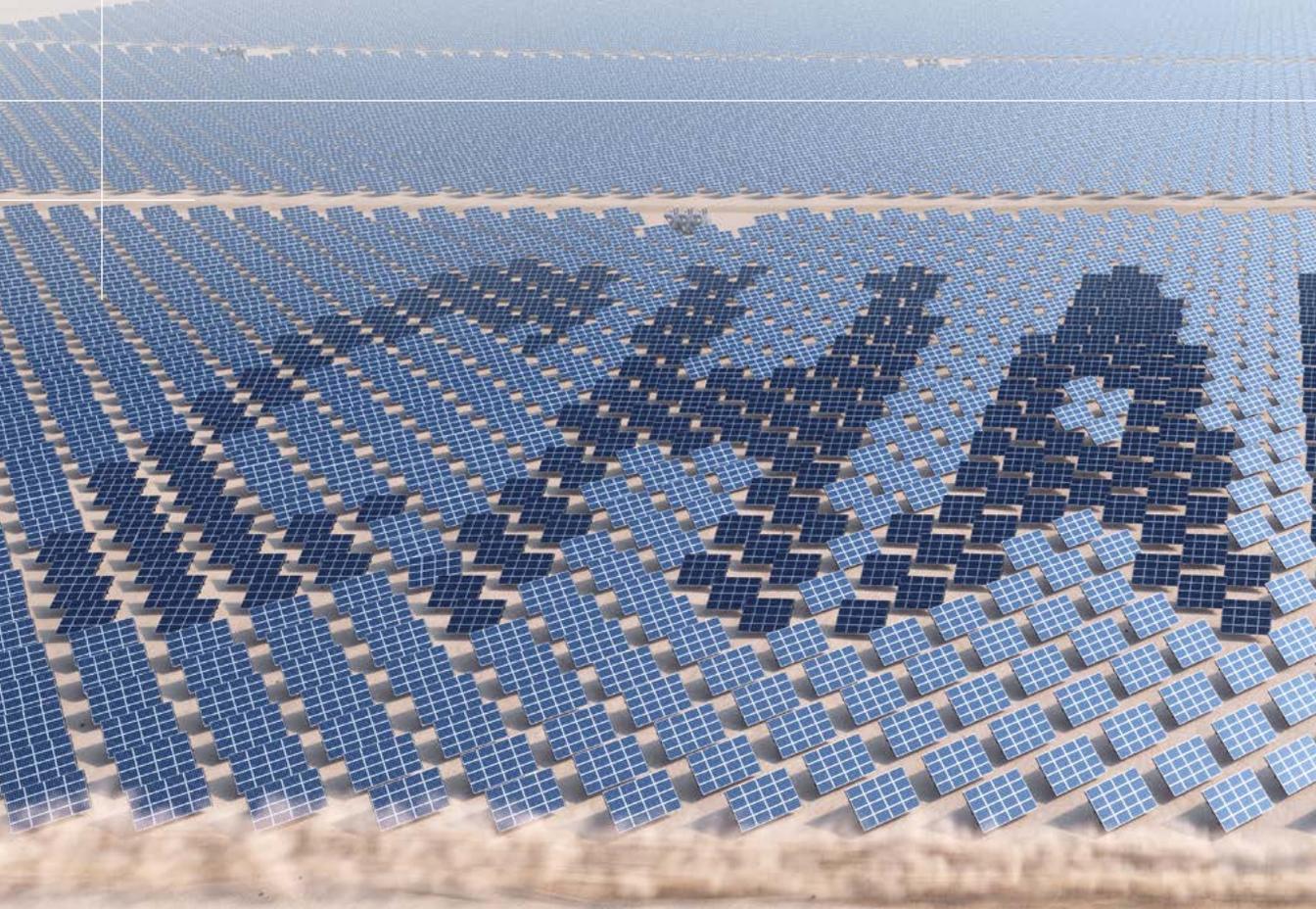
Nem todos os países terão alcançado a meta de zero emissão líquida até 2070. Mas a partir de 2020, os países avançados seguem o compromisso legal inicial da Suécia de atingir

zero emissão líquida em 2045. Juntamente com o Brasil e outras grandes economias, a maioria dos países europeus alcança a marca de zero emissão líquida em 2060, com alguns experimentando quedas contínuas de tal modo que suas emissões em toda sua economia passam a ser negativas – em outras palavras, retirando o CO₂ da atmosfera. Isso é possível combinando-se o uso de biomassa para energia com CCS. Esses países podem, então, oferecer transferências de emissões negativas aos países que ainda se encontram positivos, alcançando, dessa forma, o equilíbrio global previsto pelo Acordo de Paris.

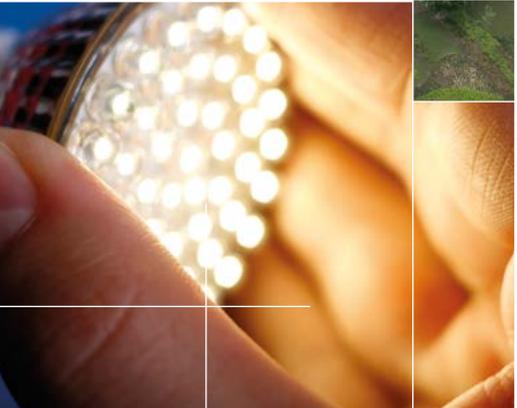
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA FINAL MUNDIAL POR SETOR NO SKY

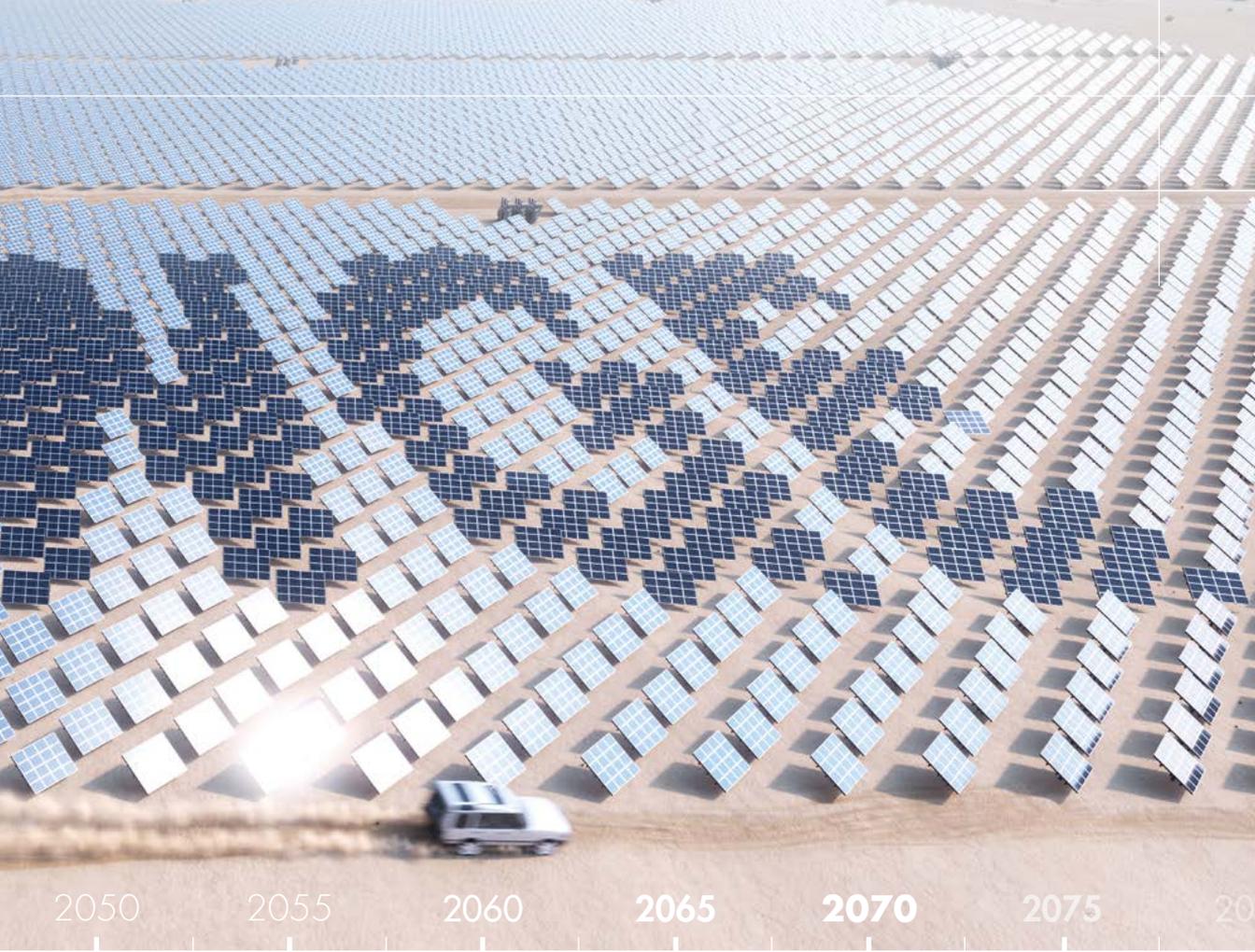


Fonte: Análise Shell



2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

CAPÍTULO 5 TRANSFORMAÇÕES DOS SETORES

5. TRANSFORMAÇÕES DOS SETORES

No **Sky**, a jornada para zero emissão líquida em 2070 envolve mudanças em todos os níveis da economia e do sistema energético, desde a configuração urbana para a demanda do consumidor por energia a grandes avanços tecnológicos necessários para a entrega de alternativas viáveis e rentáveis para os combustíveis fósseis. E no mundo do **Sky**, a transformação do sistema energético para produzir menos gases de efeito estufa é acompanhada por mudanças nos demais setores que produzem o terço restante das emissões de CO₂.

Uma das tendências mais importantes do sistema energético no **Sky** é a eletrificação – a crescente substituição dos combustíveis fósseis (como gás natural para cozinha e gasolina para mobilidade) pela eletricidade.

Uma revolução de sucesso no transporte

Até 2020, os fundamentos para uma transformação revolucionária do sistema de transportes já foram criados. O Ministério da Energia Limpa mundial, que surgiu em 2009 após a Conferência sobre Mudanças Climáticas de Copenhague para motivar a transição para

uma economia mundial de energia limpa, já adotou uma Iniciativa de Veículos Elétricos como uma de suas primeiras ações, com a meta de 20 milhões de veículos elétricos implementados mundialmente até 2020 e 30% de vendas de novos veículos até 2030. E o Reino Unido prometeu eliminar a venda de carros de passeio com motores de combustão interna até 2040.

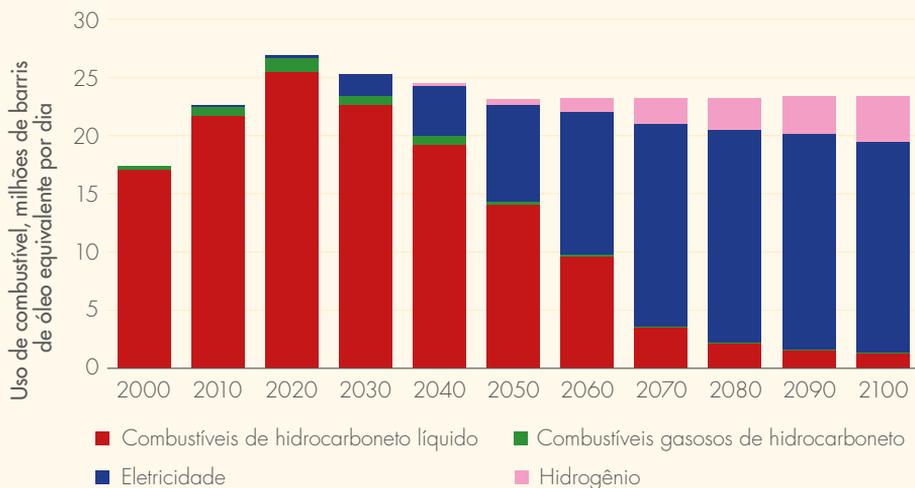
No **Sky**, essa transformação ocorre com mais rapidez do que muitos esperam. Já no início de 2030, mais da metade das vendas mundiais de carros são de carros elétricos, estendendo-se a todos os carros de passeio até 2050. Uma das razões é que em algumas cidades grandes

36



No Sky, os veículos de passeio elétricos alcançam equivalência de custos com os carros com motor à combustão em 2025. Em 2035, 100% dos carros vendidos são elétricos na UE, EUA e China, com outros países e regiões logo atrás.

O MIX DE COMBUSTÍVEIS PARA VEÍCULOS DE PASSEIO MUDA RAPIDAMENTE NO **SKY**, COM O DOMÍNIO DA ELETRICIDADE EM 2070 E A REDUÇÃO QUASE PELA METADE DOS COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS ENTRE 2020 E 2050



Fonte: Análise Shell

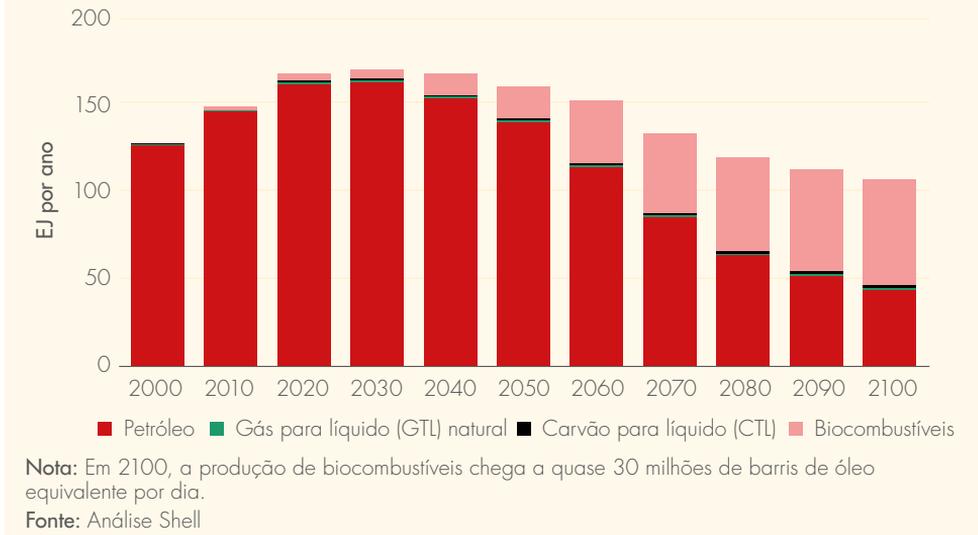
e prósperas, os trabalhadores desfrutam da liberdade e conveniência oferecidas pelas frotas de veículos elétricos autônomos. Outra razão para o aumento rápido dos veículos elétricos tem a ver com as novas e animadoras opções oferecidas. Por exemplo, no **Sky**, o design do chassi padronizado surge em combinação com uma arquitetura para bateria ou célula de combustível (FCEV), entregue quase na versão montável para as empresas locais de design para fabricação personalizada da carroceria usando técnicas de impressão em 3D. E um CarOS (sistema operacional) especializado evolui, inclusive o gerenciamento da bateria e a operação automática, fornecido com uma caixa única de interface universal.

Desta forma, a entrada dos veículos elétricos é acelerada com base em uma nova abordagem de fabricação e proposta de valor ao cliente

que oferece personalização completa, uma recompensa bem-vinda pela perda de desempenho diferencial do motor. A mudança é tão profunda quanto a chegada da linha de montagem.

Em todas as formas de transporte, os biocombustíveis desempenham um papel fundamental na transição energética no **Sky**. Com a dependência contínua de combustíveis líquidos como o combustível de alta densidade energética escolhido, mas contrariando a necessidade de reduzir as emissões de CO₂, o uso de biocombustíveis se expande rapidamente. Enquanto os combustíveis de primeira geração, como o etanol da cana-de-açúcar, seguem em meados do século antes de sua redução, o ímpeto vem de novos caminhos de síntese que produzem combustíveis equivalentes para a aviação, transporte

BIOCOMBUSTÍVEIS AVANÇADOS CRESCEM RAPIDAMENTE NO SKY, SUPRINDO UMA NECESSIDADE CONTÍNUA DE COMBUSTÍVEL DE HIDROCARBONETO LÍQUIDO.



rodoviário de carga e transporte marítimo. Esses combustíveis podem ser derivados de uma gama mais ampla de bio-matérias-primas, reduzindo a dependência do cultivo de alimentos.

No Sky, a transformação do veículo de passeio estará em grande parte concluída em 2070. O consumo do combustível de hidrocarboneto líquido cai quase pela metade entre 2020 e 2050 e apresenta uma redução de 90% em 2070 no setor. E ainda que o transporte rodoviário de carga dependa do diesel até a

década de 2050 em virtude da necessidade de um combustível de alta densidade energética, este setor também experimenta sua própria transformação, dividindo espaço com o biodiesel, hidrogênio e linhas de eletrificação.

O ambiente construído

As mudanças no ambiente construído, abordando residências e estabelecimentos comerciais, evoluem ao longo das décadas, mas as fundações estarão estabilizadas na década de 2020. Durante esse período, os governos implementam mudanças radicais nos códigos de construção, definem altos padrões de eficiência para aparelhos eletrodomésticos, estabelecem uma nova infraestrutura para as necessidades de aquecimento distritais e regionais e práticas que motivem o desenvolvimento urbano compacto e atrativo.

O impulsionador da eficiência é tão efetivo que a demanda por energia final para serviços residenciais, que inclui aquecimento, cocção, iluminação e uso de aparelhos eletrodomésticos, permanece estável durante todo o século, ainda que a maioria da população crescente mundial tenha acesso a essas comodidades.

A eletrificação dos prédios caminha rapidamente, com uma queda progressiva no uso local de gás natural a partir de 2030. Em 2070, na América do Norte e



A eficiência de refrigeradores domésticos nos EUA triplica desde 1970. Para oferecer uma melhor qualidade de vida para todos, mas também gerenciar a demanda por energia, o Sky alcança esses sucessos em toda a economia.

na maior parte da Europa, o gás natural não é mais usado para aquecimento e cozimento residencial.

Transformação industrial

A mudança necessária para uma indústria com zero emissão líquida segue um caminho mais incremental, em grande parte impulsionada pela implementação progressiva dos sistemas governamentais de precificação de carbono e o ajuste do preço resultante que ocorre quando os governos respondem ao Acordo de Paris. A transformação é profunda e segue três rotas distintas:

- A eficiência melhora continuamente, com a maioria dos processos industriais se aproximando dos limites de eficiência termodinâmica e mecânica na década de 2050.
- Alguns processos mudam para a eletricidade, sobretudo para a indústria leve, onde o uso de eletricidade duplica de 2020 a 2040. O hidrogênio também surge como um importante combustível para a indústria leve em 2050, com a queda do uso de gás natural. Mas uma mudança semelhante na indústria pesada não surge até meados de 2050, com o hidrogênio, a biomassa e a eletricidade substituindo o uso do gás natural e do carvão.
- O carvão continua importante no setor metalúrgico e em alguns outros processos

ao longo do século, mas com o aumento dos preços do carbono implementado pelos governos, a CCS surge como a solução.

A indústria também se beneficia de um foco maior na economia circular, que vê a reciclagem em grande escala expandir-se ao longo do século, à medida que, como resultado, ocorre uma redução na extração de recursos.

Um mundo elétrico

À medida que a eletricidade avança rapidamente no transporte, no aquecimento e cozimento residencial e nos processos industriais, seu papel no sistema energético aumenta. Na década de 2070, a eletricidade ultrapassa 50% do consumo de energia de uso final, em comparação com menos de 20% na década de 2010.

Com o aumento da presença de energias renováveis, problemas associados à intermitência renovável e à infraestrutura das redes elétricas recebem atenção das políticas. A eletricidade distribuída e em escala de utilidade pública compete cada vez páreo a páreo com a geração térmica convencional, fazendo com que os preços da eletricidade em alguns mercados caiam abaixo do custo variável de usinas de carvão e gás menos eficientes, acelerando, assim, a retirada de operação.



No Sky, a energia nuclear cresce de forma constante, com uma capacidade de 1.400 GW em 2070, acima dos 450 GW em 2020.



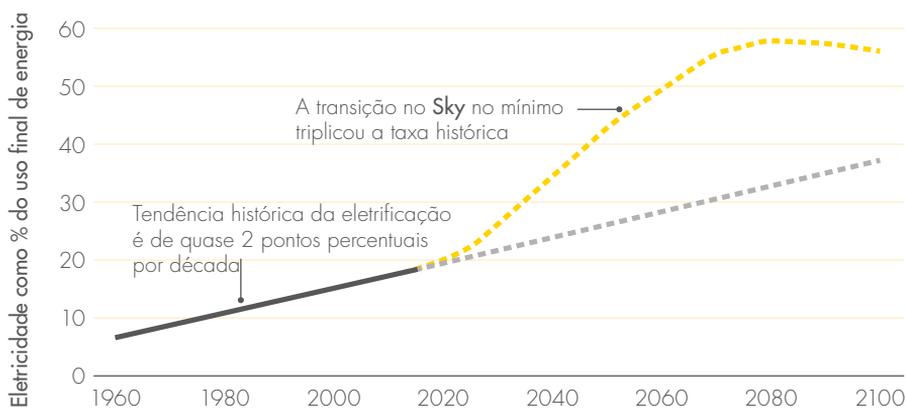


A ELETRICIDADE NO SÉCULO 21

Atualmente, a demanda mundial por eletricidade está em 22.000 terawatt-hora (TWh) por ano. No **Sky**, o volume sobe para cerca de 100.000 TWh por ano durante a segunda metade do século, ou o aumento de cerca de 1.400 TWh de geração por ano a partir de agora. Como referência, quando concluída, a usina nuclear Hinkley Point de 3,3 GW, em construção no Reino Unido, acrescentará cerca de 29 TWh. Sendo esse ritmo de desenvolvimento equivalente a cerca de 50 usinas gigantes mundiais a cada ano, ou uma instalação adicional por semana. A geração global de energia eólica e solar foi de aproximadamente 1.300 TWh em 2016, com cerca de 200 TWh adicionados de 2015 a 2016, contra uma geração total

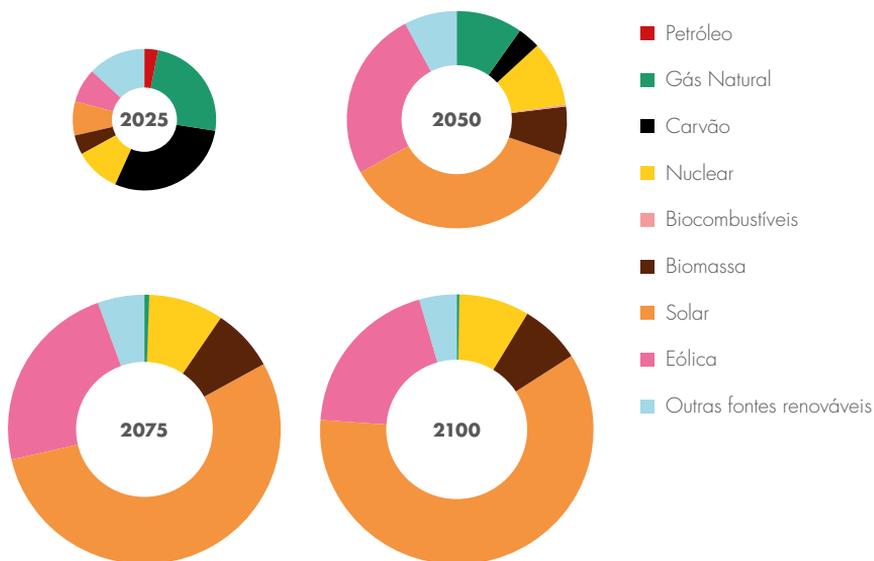
de eletricidade adicional de cerca de 600 TWh. Assim, as novas energias solar e eólica ainda não estão perto de atender à demanda extra por geração. Embora ambas estejam aumentando rapidamente, as usinas térmicas continuarão sendo necessárias pelo menos até meados do século. Isso também significa que as emissões da geração de eletricidade mundial só cairão no médio prazo, à medida que o gás natural e o nuclear possam desbancar o carvão.

TENDÊNCIAS ATUAIS NA ELETRIFICAÇÃO NÃO SÃO SUFICIENTES PARA SKY



Fonte: Análise Shell, IEA (dados históricos)

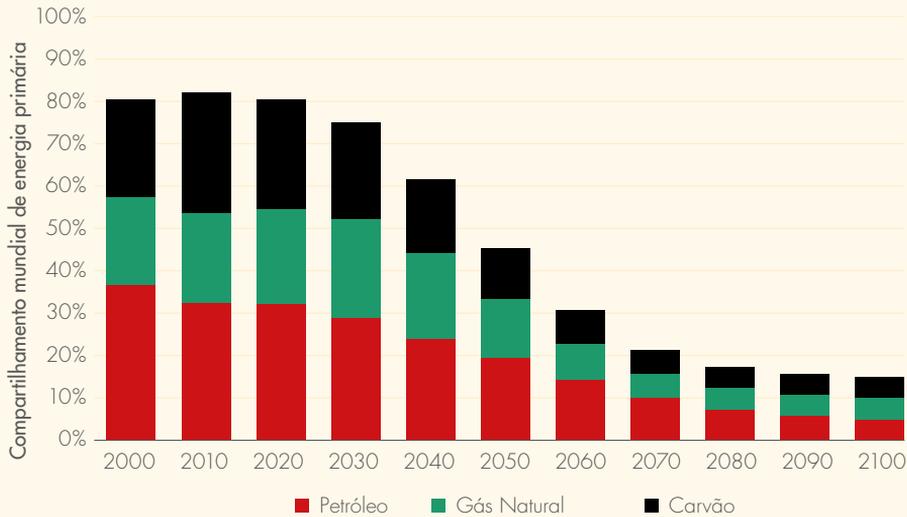
MUDANÇA EXCESSIVA DO MIX DE ELETRICIDADE PARA A ENERGIA SOLAR AO LONGO DO SÉCULO



Nota: O diâmetro do gráfico de pizza representa a demanda total por eletricidade.

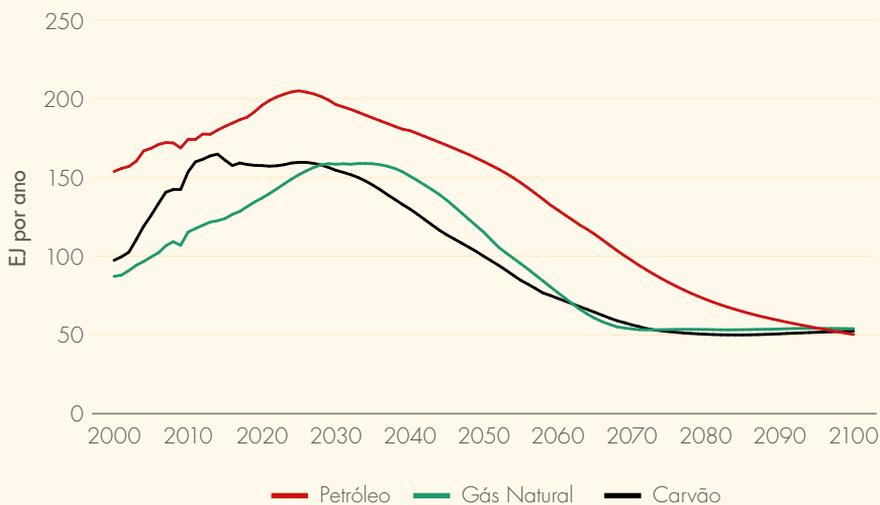
Fonte: Análise Shell

NO SKY, EM MEADOS DO SÉCULO, A ENERGIA FÓSSIL FINALMENTE ABRE MÃO DE SUA MAIOR PARTE NO SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL



Fonte: Análise Shell

NO SKY, O PICO DA DEMANDA POR CARVÃO JÁ SE ENCONTRA ATRÁS, O PICO DA DEMANDA POR PETRÓLEO CAI NA DÉCADA DE 2020, E APÓS UMA ESTABILIZAÇÃO, A DEMANDA POR GÁS CAI RAPIDAMENTE A PARTIR DE 2040



Fonte: Análise Shell

No **Sky**, os problemas de confiabilidade da eletricidade são amplamente gerenciados por meio de uma combinação de design de mercado melhorado (por exemplo, mercados de capacidade), integração das redes elétricas (por exemplo, integração nas fronteiras da Europa), gerenciamento da demanda (por exemplo, redes inteligentes) e a implementação do armazenamento econômico de calor, bateria e hidrogênio. A queda dos custos de capital garante a viabilidade da instalação de energias renováveis, enquadrando-se bem nos gastos históricos do novo sistema energético como parte do PIB mundial.

Na década de 2070, o setor de geração de energia avança por meio de duas transformações radicais. O primeiro é de escala, com a eletricidade chegando a um aumento de cinco vezes em relação aos níveis de 2017. A composição das fontes também mudou, com os combustíveis fósseis efetivamente ausentes do setor e a energia solar atendendo a mais de metade das necessidades mundiais de eletricidade em 2070 e em franco crescimento. Um novo acréscimo ao setor é a geração a partir da combustão de biomassa, que está ligada à CCS para promover a menor presença de carbono.

Um novo sistema energético

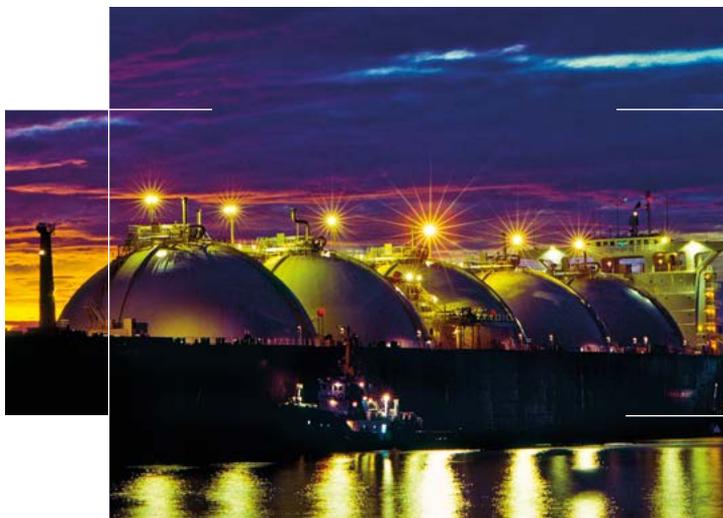
No **Sky**, os primeiros sinais claros da transição surgem na década de 2020, com a estagnação da demanda por petróleo, a queda do carvão, o crescimento do gás natural à medida que substitui o carvão, e a aproximação da energia solar à nuclear como a maior parte não fóssil do sistema energético.

Em 2070, a produção de petróleo permanece em torno de 50-60 milhões de barris por dia devido à ampla variedade de serviços que ainda fornece. O transporte não rodoviário continua fazendo uso significativo de combustíveis de hidrocarboneto líquido, com crescimento geral até 2070. Os biocombustíveis complementam a mistura de combustíveis líquidos, com o hidrogênio desempenhando um papel crescente após 2050.

O gás natural, tanto como gás de oleoduto como GNL, desempenha um importante papel inicial na suplantação do carvão na geração de energia e no apoio à intermitência de energia renovável à medida que a energia eólica e solar crescem no setor de energia. Mas, à medida que os painéis solares fotovoltaicos se expandem rapidamente, os custos das baterias caem, e à medida que o alto custo das emissões de carbono é afetado, até mesmo o gás natural sucumbe à transição. Trata-se do último combustível fóssil a atingir o pico, com uma queda rápida na demanda após 2040. Em 2055, o uso de gás natural para a geração de energia retorna aos níveis de 2015 em todo o mundo.

Em meados do século, o mix de energia começa a parecer muito diferente, com o surgimento da energia solar como fonte de energia primária dominante por volta de 2055.

As emissões de CO₂ do sistema energético atingem o pico em meados da década de 2020, com cerca de 35 gigatoneladas (Gt), período após o qual ocorre um declínio contínuo.



Demanda mundial por gás natural alcança um patamar em 2028 no Sky com 4.600 bilhões de metros cúbicos por ano (bcm) – acima de 3.700 bcm em 2017.

Outros gases de efeito estufa e setores não energéticos

O Sky chega a zero emissão líquida de CO₂ para o sistema global de energia em 2070, embora com uma distribuição variada entre diferentes setores e países. Isso abrange todo o carbono contido no carvão, petróleo e gás usado para energia, mas exclui a matéria-prima para produtos não energéticos, como os plásticos.

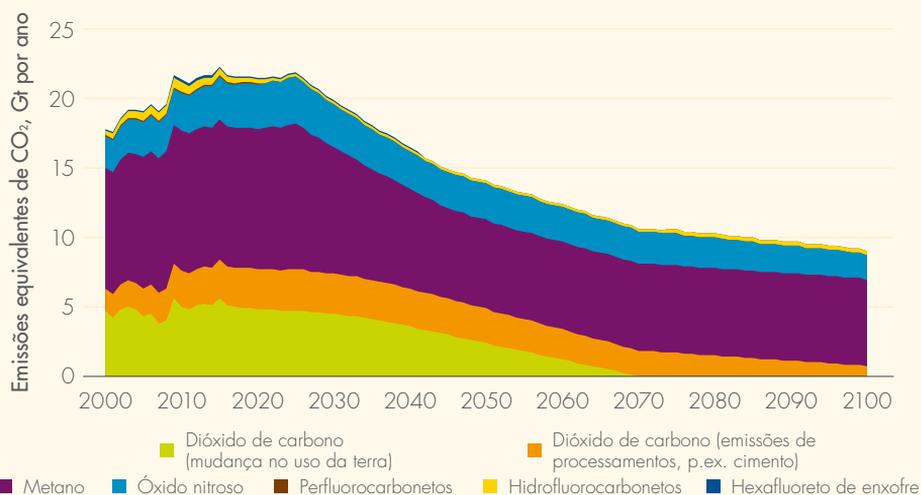
Mas inúmeras outras atividades humanas alteraram a composição do gás-traço da atmosfera, também contribuindo para o aquecimento do sistema climático. A fabricação de cimento é um exemplo, onde a calcinação de calcário libera CO₂.

O sistema agrícola aumenta o metano na atmosfera devido, principalmente, ao gado bovino e ao cultivo de arroz. A mudança no uso da terra ao longo de vários séculos, como o desmatamento e a degradação agrícola do solo, também diminuiu a capacidade de transporte de carbono da biosfera terrestre, que, por sua vez, aumentou o CO₂ atmosférico.

Na era moderna, todas essas atividades foram aceleradas, surgindo novos gases-traços de longa duração, alguns com potenciais de aquecimento extraordinários. O hexafluoreto de enxofre, comum em transformadores isolados a gás, é um exemplo, com um potencial de aquecimento 24.000 vezes maior do que o CO₂.

No cenário **Sky**, mudanças significativas são feitas em todos os setores produtores de gases de efeito estufa. Embora todos os itens da tabela a seguir representem a melhor prática atualmente em alguns locais, o caminho do **Sky** dita a adoção universal por volta de 2030, mas com algum desvio reconhecido nas economias menos desenvolvidas. Para gases de curta duração, como o metano, a exigência é reduzir significativamente as emissões, em vez de zerá-las, uma vez que esses gases se decompõem na atmosfera ao longo de alguns anos.

GASES DE EFEITO ESTUFA DE SISTEMAS NÃO ENERGÉTICOS TAMBÉM CAEM BRUSCAMENTE NO SKY

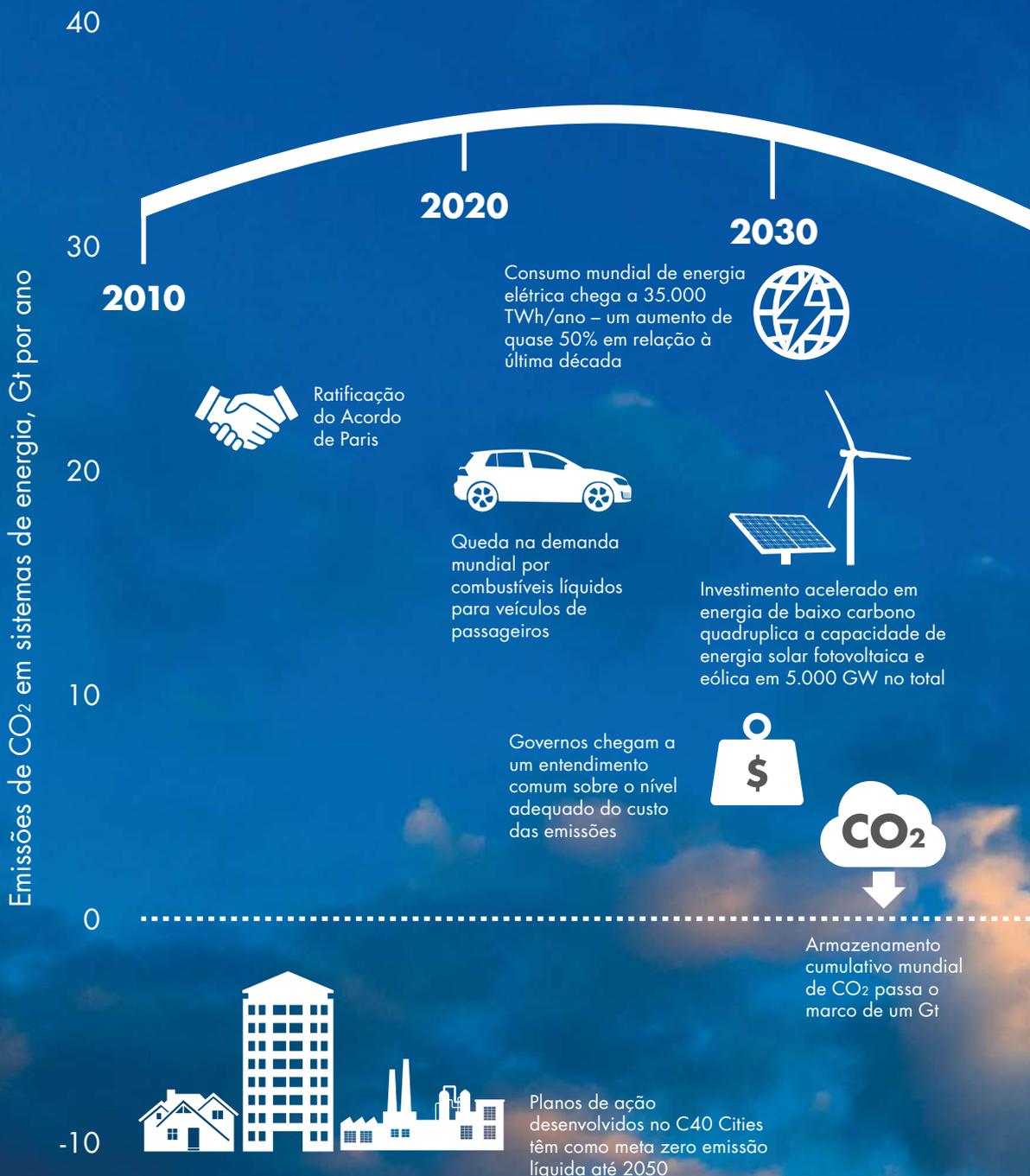


Fonte: Análise Shell, MIT

Embora a ênfase no **Sky** tenha sido sobre as emissões de CO₂ do sistema de energia, é necessária uma visão sobre todos os aspectos das emissões de gases de efeito estufa para completar o cenário e entender o potencial aumento na temperatura da superfície. Essa visão foi desenvolvida com base na implementação completa de todas as etapas da tabela.

GÁS	SETOR	AÇÃO EXIGIDA PELO SKY
Dióxido de carbono	Cimento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Substituição progressiva do cimento em construções ■ Substituição do calcário como matéria-prima, por exemplo, usando cinzas volantes ■ Usar captura e armazenamento de carbono (CCS)
	Industrial (emissões no processo)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Usar CCS
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eliminar o desmatamento para ganho de terra ■ Implementar programas de carbono do solo, por exemplo, plantio direto, rotação de cultura
	Urbanização e desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Criar cidades verdes por meio do plantio extenso de árvores ■ Manter cinturões verdes dentro e ao redor das cidades ■ Evitar o crescimento da cidade por meio de moradias de maior densidade ■ Abordar o uso tradicional da biomassa por meio do acesso moderno aos programas energéticos
Metano	Mineração de carvão	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduzir o consumo de carvão ■ Implementar melhores práticas para drenagem de metano e uso em minas de carvão (p.ex. Guia UNECE) ■ Gerenciar minas abandonadas
	Indústria de óleo e gás	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduzir o consumo de petróleo e gás ■ Implementação de melhores práticas por parte dos líderes da indústria de óleo e gás a partir da década de 2020, e toda a produção mundial seguindo as melhores práticas até 2050.
	Pecuária	<ul style="list-style-type: none"> ■ Oferecer produtos alternativos aos consumidores ■ Mudar a dieta do gado para minimizar o metano
	Plantio de arroz	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduzir enchentes forçadas nos arrozais
	Urbanização e desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Capturar metano dos aterros
Óxido nítrico	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> ■ Implementar o gerenciamento de fertilizantes de nitrogênio, ou seja, taxa de aplicação, formulação (tipo de fertilizante), tempo de aplicação, disposição
	Processos industriais	<ul style="list-style-type: none"> ■ Implementar técnicas de decomposição catalítica e destruição térmica
Gases fluorados	Vários (por exemplo, indústria de TI, refrigeração, transformadores)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Substituição progressiva do PFC, HFC, e SF₆ ■ Gerenciar melhores práticas ■ Introduzir programas de recuperação para equipamentos em desuso (ex., refrigeradores, transformadores)

A ESCALA DA MUDANÇA GLOBAL NO **SKY** É SEM PRECEDENTES



Primeiros países a alcançar zero emissão líquida

Todas as regiões alcançam zero emissão líquida

2040



Primeiro voo intercontinental abastecido com hidrogênio



Energia solar fotovoltaica passa o petróleo como a maior fonte de energia



Maioria dos caminhões movida à eletricidade ou hidrogênio

2050



Índia é líder mundial em energia solar fotovoltaica



Índia e China alcançam armazenamento de CO₂ de um Gt por ano

2060



850.000 turbinas de 10 MW

2070



Desmatamento líquido chega ao fim

Últimos países a alcançar zero emissão líquida



Sistemas de energia mundiais atingem 1.000 EJ por ano (dobro de 2010)



Hidrogênio a 10% da energia final



Biocombustíveis ultrapassam petróleo como o maior componente de combustíveis líquidos



Armazenamento de CO₂ chega a 12 Gt por ano



Após comemoração de 30 anos de quase zero emissão, as cidades estão em vista de alcançar suas metas de economia circular mundialmente

2080

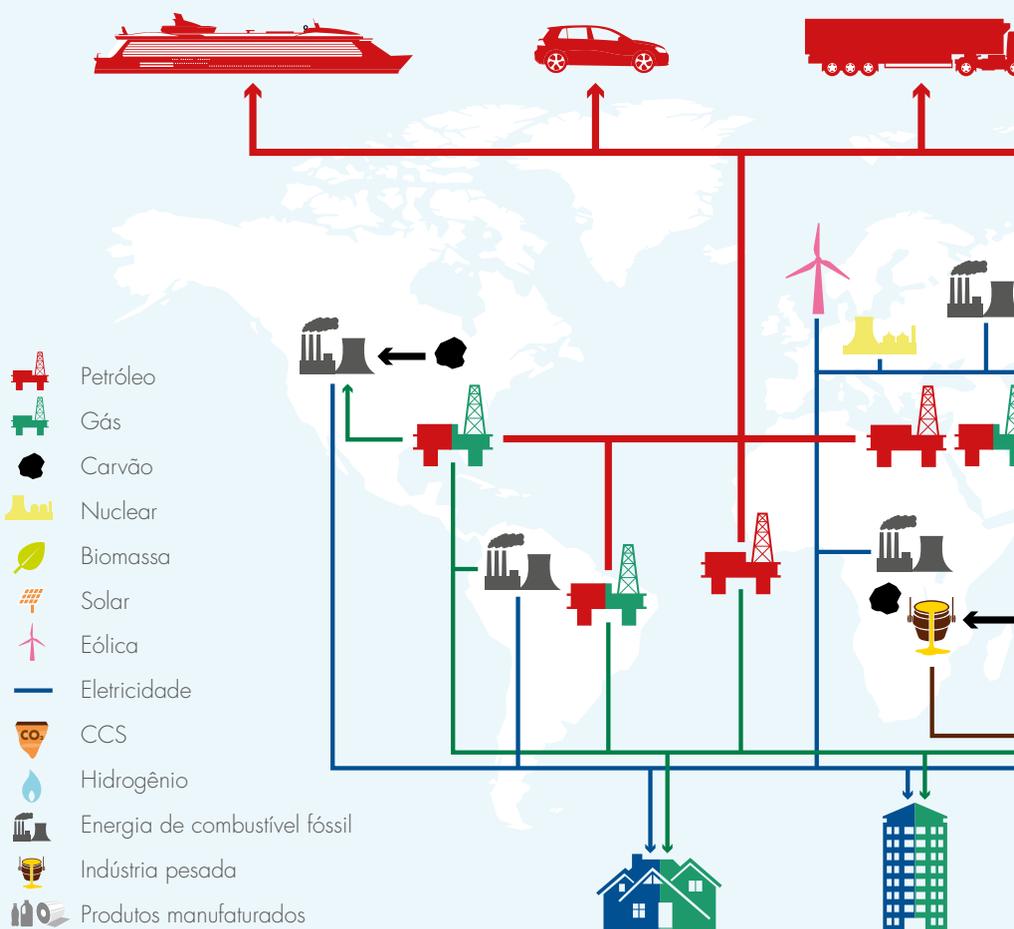
2090

2100

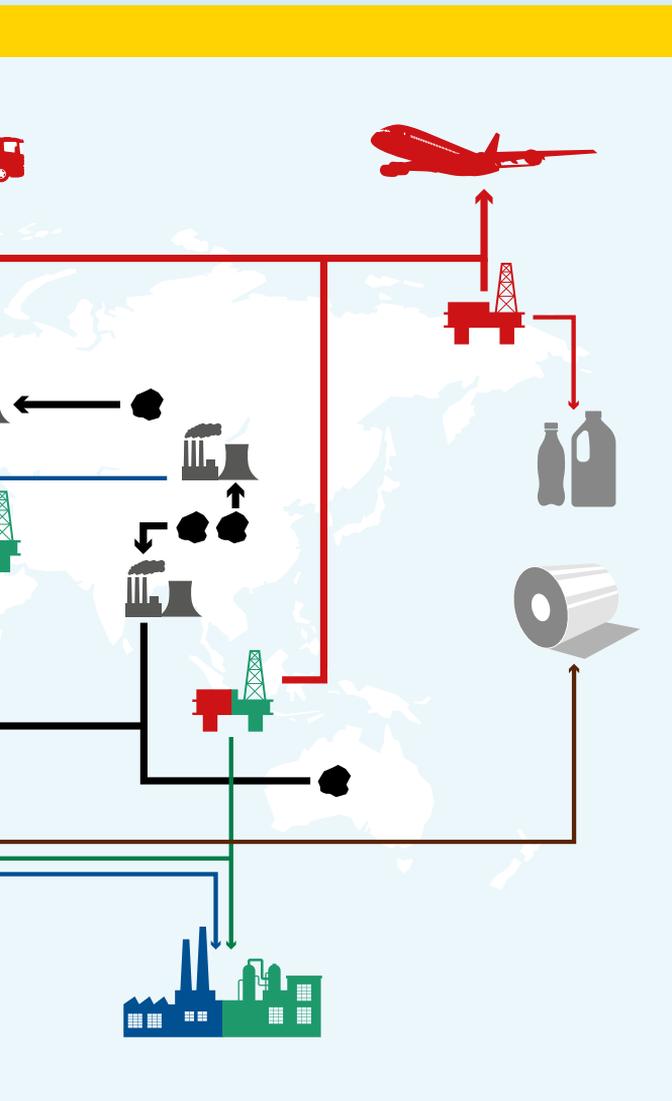
UM NOVO SISTEMA ENERGÉTICO

Ao longo dos últimos 200 anos, nosso contato com a energia tem mudado radicalmente. Para a maioria da população mundial nos anos iniciais do século 19, as necessidades energéticas eram atendidas individualmente por meio da coleta e queima da madeira, embora o uso de carvão nas cidades estivesse apenas começando. As velas para iluminação doméstica eram fabricadas de modo caseiro ou compradas com um fabricante local, que usava várias gorduras animais. Com anos depois, mas sobretudo nos países mais ricos, a iluminação era fornecida pelas lâmpadas de gás

HOJE – UM SISTEMA ENERGÉTICO BASEADO EM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

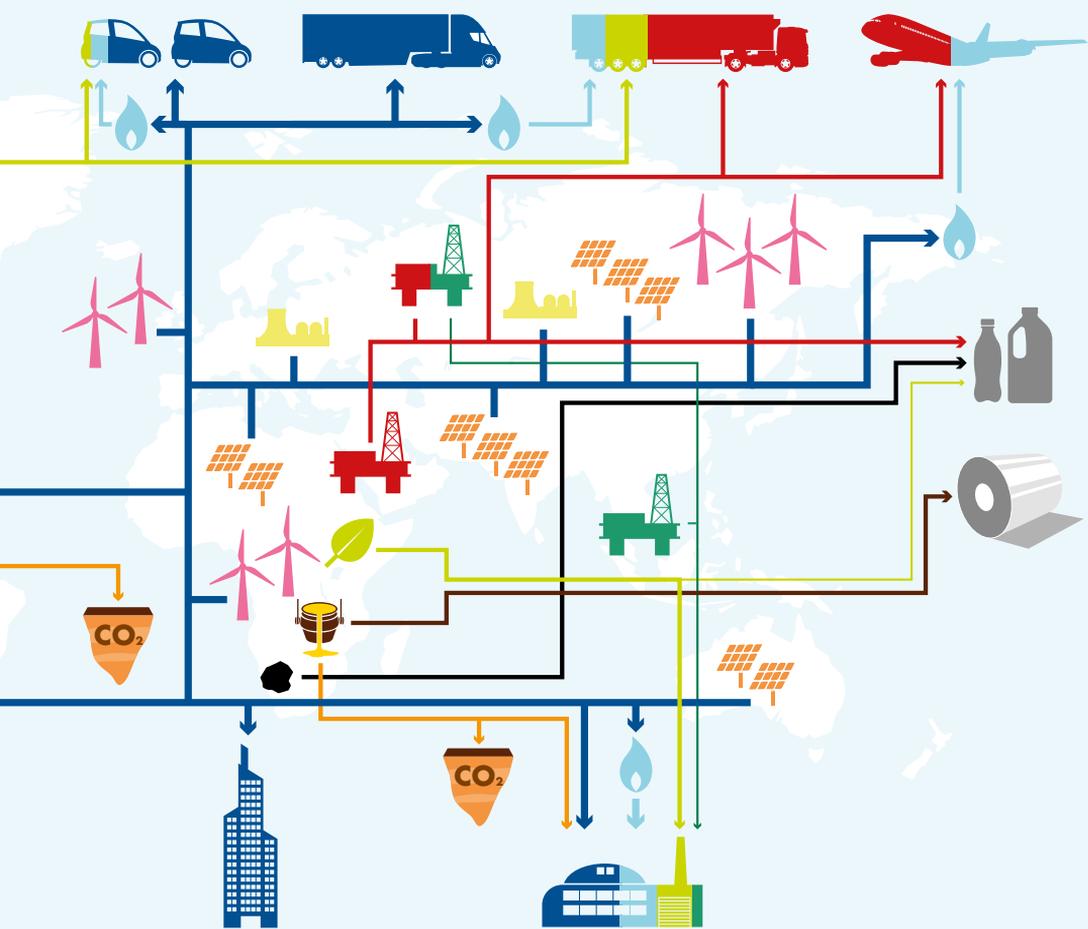


e querosene das cidades e, para um número cada vez maior de pessoas, pela eletricidade. Embora hoje ainda haja um número preocupante de pessoas com pouco ou nenhum acesso à energia, grande parte da população mundial faz uso regular de produtos derivados do petróleo, do gás natural e da eletricidade. Mas como isso pode parecer no final deste século, à medida que alcançamos zero emissão líquida? No **Sky**, um sistema energético baseado na eletricidade suplanta o sistema atual amplamente baseado em combustíveis fósseis.



SKY EM 2070 – UM SISTEMA ENERGÉTICO BASEADO NA ELETRICIDADE







15 2020 2025 2030 2035 2040 2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

20

CAPÍTULO 6
ALCANÇANDO O EQUILÍBRIO

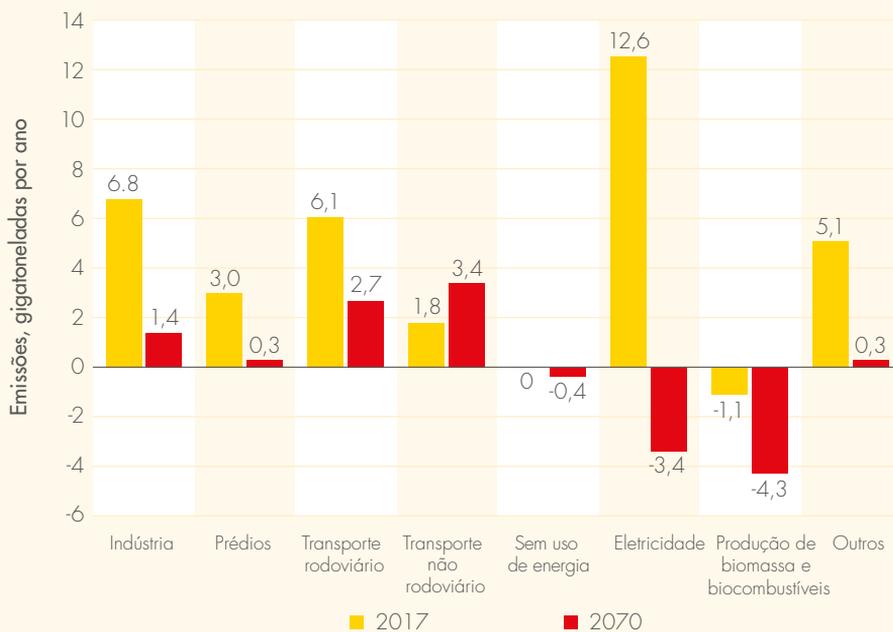
6. ALCANÇANDO O EQUILÍBRIO

Emissões remanescentes

No **Sky**, o uso de combustíveis fósseis sofre uma queda acentuada após 2030 – mas não pode ser eliminado em todos os setores, na medida em que o aquecimento é limitado a bem abaixo de 2°C. Mesmo com um amplo conjunto de tecnologias disponíveis e um prazo de 50 anos para a implementação, nem todas as tecnologias e serviços de energia podem ser trocados por alternativas não emissoras no ritmo necessário. De fato, nos chamados setores “difíceis de abater”, ainda é necessário desenvolver alternativas práticas, e a inovação em vez da implementação ainda é a ordem atual do dia.

54

COMO AS EMISSÕES DE CO₂ NO SISTEMA ENERGÉTICO NO **SKY** SÃO TRANSFORMADAS PARA ZERO EMISSÃO LÍQUIDA EM 2070



Nota: “Outros” representa outras atividades do setor energético, como o transporte e refino de energia fóssil, geração centralizada de calor e, no futuro, produção de hidrogênio.

Fonte: Análise Shell

REMOÇÃO DO CARBONO PELO USO

A captura e uso do carbono (CCU) opera de maneira bem diferente do CCS (armazenamento geológico permanente). Há exemplos na prática de captura e uso nos dias de hoje, como a conversão de CO₂ em certos produtos químicos (por exemplo, ureia, a base para fertilizantes) e a produção de plásticos, como os policarbonatos. Todos esses processos exigem CO₂ como matéria-prima, mas não são necessariamente projetados para armazená-lo permanentemente. Se o carbono é devolvido para a atmosfera por meio da degradação ou incineração do produto feito, então o impacto líquido do processo pode ser zero em termos de níveis atmosféricos de CO₂.

Num futuro sistema energético, existem duas maneiras pelas quais a CCU pode se tornar efetiva:

- A CCU pode estar focada na fabricação de combustíveis sintéticos de hidrocarbonetos, o que poderia substituir a necessidade de hidrocarbonetos fósseis. No entanto, a indústria de combustíveis sintéticos precisaria de inovações tecnológicas substanciais e, em seguida, precisaria ser dimensionada de maneira muito significativa antes que pudesse ter um impacto relevante, portanto, é improvável que essa rota contribua significativamente para o prazo abordado pelo **Sky**. Os combustíveis sintéticos não são um sumidouro em si mesmos, uma vez que

ao serem produzidos e usados, o CO₂ é devolvido para a atmosfera.

- A CCU poderia ser aplicada à fabricação de certos produtos – por exemplo, materiais de construção ou plásticos. Mas, para atuar como um mecanismo de redução semelhante ao CCS, a CCU deve gerar um armazenamento mais ou menos permanente. O estoque total do produto deve ser mantido por um período muito longo (pelo menos um século ou mais) para que a CCU se aproxime da equivalência de CCS. No **Sky**, combustíveis fósseis e bio-matérias-primas são usados para fabricar esses produtos, atuando como um sumidouro de carbono eficaz.

Essa situação significa que atribuir um valor de redução à CCU desempenha um papel crítico. Fazê-lo para o sistema CCS é uma tarefa relativamente simples – cada tonelada armazenada pode ser contabilizada como uma redução permanente e contribuirá para a tarefa geral de alcançar a zero emissão líquida. O mesmo não pode ser dito para a CCU. Embora o carbono possa ser incorporado na ureia ou policarbonato, não há um protocolo estabelecido para definir isso como redução permanente. Ainda há trabalho a ser feito nesse campo.

Embora todas as facetas do atual sistema energético tenham mudado ou estejam em transição em 2070, o uso do combustível fóssil restante gera emissões de cerca de 15 Gt de CO₂ por ano, reduzindo para 11 Gt até 2100. Isso corresponde a aproximadamente um terço do índice atual. Por esse motivo, os sumidouros de emissão (ou seja, a remoção de CO₂ da atmosfera) são utilizados na maioria dos cenários energéticos de longo prazo e baixa emissão, inclusive no **Sky**.

O Acordo de Paris reconhece essa realidade quando prevê um equilíbrio entre as emissões por fontes e remoções por sumidouros dos gases de efeito estufa. É importante ressaltar que o Acordo reconhece que, mesmo após significativos esforços de mitigação por meio de substituição, as emissões de gases de efeito estufa continuarão, o que significa que os sumidouros serão essenciais em algum nível.

Equilíbrio de mecanismos no sistema energético

Dentro do setor energético, o **Sky** utiliza três mecanismos que evitam a liberação de CO₂ ou removem o CO₂ da atmosfera. No total, os mecanismos lidam com um trilhão de toneladas de CO₂ no decorrer do século.

1. O sistema CCS convencional é aplicado em grandes instalações emissoras pontuais, como fábricas de cimento ou fundições de minério de ferro. O CO₂ é armazenado geologicamente, geralmente dois a três quilômetros abaixo da superfície. Atualmente, a tecnologia de CCS é aplicada em escala em várias instalações ao redor do mundo.
2. O sistema de CCS convencional é aplicado em usinas de energia que operam com matéria-prima de biomassa produzida de forma sustentável. Em sua totalidade, este mecanismo resulta na remoção líquida do CO₂ da atmosfera.
3. A fabricação de vários produtos, como plásticos, a partir de combustíveis fósseis ou matéria-prima de biomassa. Esses materiais são usados pela sociedade e podem gerar um armazenamento efetivo de carbono em vez de sua liberação na atmosfera na forma de CO₂. Quando o carbono é derivado da biomassa, este mecanismo também resulta na remoção líquida de CO₂ da atmosfera.

O problema das emissões de gases de efeito estufa vai além do uso de energia, também havendo interação entre o sistema de energia e os sistemas naturais, por exemplo, ao se usar bioenergia. O **Sky** reconhece isso e o escopo que existe para ações em um sistema para ajudar o outro e vice-versa.



No Sky, mudanças no uso da terra e o fim ao desmatamento são essenciais para o resultado geral. Mas o reflorestamento em grande escala pode ser um fator de mudança, com o potencial de levar ainda mais longe a ambiciosa meta de 1,5°C do Acordo de Paris.



Soluções baseadas na natureza: Reflorestar, recuperar e evitar o desmatamento

A mudança no uso da terra em todo o mundo ao longo do último século (mas que remonta centenas de anos) contribuiu para o aumento do CO₂ atmosférico e continua a fazê-lo. A Fundação Global Carbon Project estima que as mudanças no uso da terra resultaram na emissão de cinco Gt de CO₂ por ano para cada um dos últimos 20 anos. Se for possível interromper essas mudanças, muitos ecossistemas degradados poderão ser restaurados. A Nature Conservancy estima que cerca de 500 Gt de CO₂ no total podem ser retirados da atmosfera a custos hoje abaixo de US\$ 100/t CO₂ e armazenados de forma sustentável por solos melhorados e uma extensa cobertura florestal.

O quarto mecanismo introduzido no cenário é o amplamente compreendido e muito usado atualmente – o reflorestamento, a restauração de terras degradadas e a prevenção do desmatamento. Se não houver uma abordagem conjunta dessas áreas com o sistema energético, a zero emissão líquida total não poderá ser alcançada. O **Sky** assume ações significativas relacionadas à terra para devolver o equilíbrio entre o uso da terra e os sistemas agrícolas e garantir que até 2070 o desmatamento líquido tenha chegado a zero.

Além disso, o reflorestamento em grande escala poderia acompanhar isso, oferecendo a oportunidade de remover o carbono adicional da atmosfera e, assim, abordar o objetivo ambicioso do Acordo de Paris – limitar o aumento da temperatura média da superfície global para apenas 1,5°C.

A escala de mudança exigida no setor de uso da terra exigirá ação por parte dos governos, tanto internamente quanto por meio de mecanismos cooperativos internacionais, como os incluídos no Acordo de Paris.

A elaboração, implementação e o uso desses mecanismos podem promover o envolvimento do setor privado, que, por sua vez, pode acelerar as atividades necessárias.

É importante que se realize uma ação inicial nessa área, dado o processo de recuperação e reflorestamento que leva uma década. Portanto, no **Sky**, essas práticas focadas na natureza desempenham um papel importante junto com a transformação do uso da energia em toda a economia. De fato, nas próximas décadas, um pouco do ímpeto inicial para esses desenvolvimentos pode vir por meio do apoio da indústria e utilização de atividades certificadas e certificados comerciais para compensar as emissões relacionadas à energia, difíceis de reduzir. O CORSIA (Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional), sistema acordado pela indústria da aviação em 2016 para combater as emissões crescentes nesse setor, é um bom exemplo – soluções baseadas na natureza fazem parte de suas categorias de compensação propostas. Com o passar do tempo, no entanto, no **Sky**, sistemas como o CORSIA mudam para uma das três categorias de captura de carbono acima para fins de compensação.

Em 2070, a meta de zero emissão líquida é alcançada dentro do sistema energético, e a interação entre energia e sistemas naturais continua. Conforme ilustrado, o equilíbrio do sistema energético é obtido por meio da combinação do uso de CO₂ e do armazenamento geológico de CO₂ com matérias-primas de biomassa para equilibrar as emissões remanescentes de combustíveis fósseis que ainda vão para a atmosfera.

Por meio de uma ampla variedade de ações em todos os setores, incluindo medidas tomadas para eliminar totalmente o desmatamento líquido e iniciar o processo de restauração da terra, o objetivo geral do Acordo de Paris de equilibrar as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa remanescentes com sumidouros na segunda metade do século é alcançado.



SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA: AMPLIANDO A AMBIÇÃO POR MEIO DA RESTAURAÇÃO DA NATUREZA

Nosso caso base para o **Sky** pressupõe que as emissões de CO₂ resultantes da mudança no uso da terra caiam para zero em 2070, em linha com o sistema energético que atinge zero emissão líquida ao mesmo tempo. Mas a restauração de ecossistemas, incluindo o reflorestamento em grande escala, pode desempenhar um papel adicional crítico, produzindo uma redução líquida de CO₂ da atmosfera e, portanto, oferecendo um caminho para o ambicioso resultado de 1,5°C.

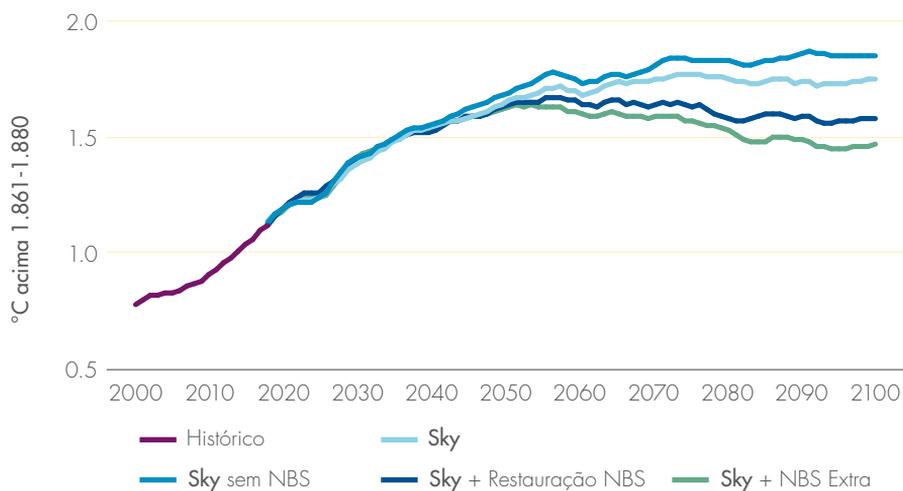
Se for possível superar as barreiras sociais, como o impacto nas comunidades agrícolas, essas soluções baseadas na natureza (NBS) podem ajudar a limitar o pico de aquecimento, pois o aumento pode ser consideravelmente mais rápido do que a transformação de tecnologias energéticas.

Pesquisas de instituições como MIT, o Centro de Ecossistemas da Woods Hole e The Nature Conservancy indicaram que uma redução adicional além do **Sky** de 10 Gt de CO₂ por

ano é viável por meio do reflorestamento, embora se trate de uma tarefa muito grande. Cerca de 700 milhões de hectares de terra seriam necessários ao longo do século, uma área que se aproxima à do Brasil.

Fizemos duas análises de sensibilidades no cenário **Sky**, em consulta com a The Nature Conservancy (TNC) e o MIT. A primeira sensibilidade envolve a prevenção acelerada do desmatamento e a introdução de uma escala similar de restauração. Nós chamamos de “**Sky** + Restauração NBS”. Isso acrescenta uma queda de cinco Gt de CO₂ por ano para o **Sky**. A segunda sensibilidade, “**Sky** + NBS Extra”, é necessária para limitar o aquecimento a 1,5°C e presume que muitos custos e barreiras sociais podem ser superados com mais êxito, de modo que seja possível alcançar uma taxa de redução adicional de 10 Gt de CO₂ por ano (ou seja, 15 Gt por ano no total).

AMBIÇÃO AMPLIADA NO **SKY**

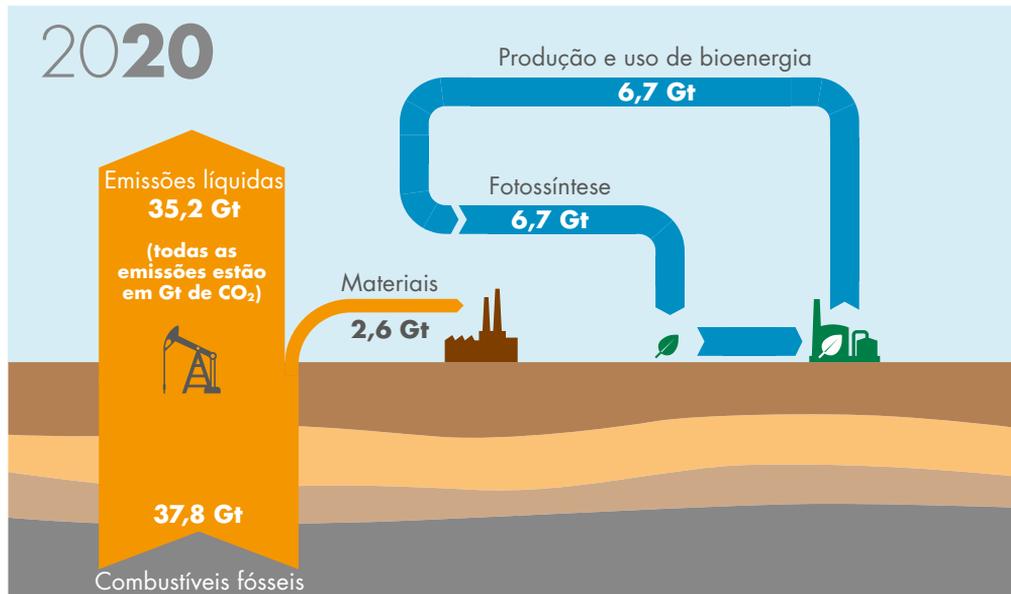


Fonte: Análise Shell, MIT



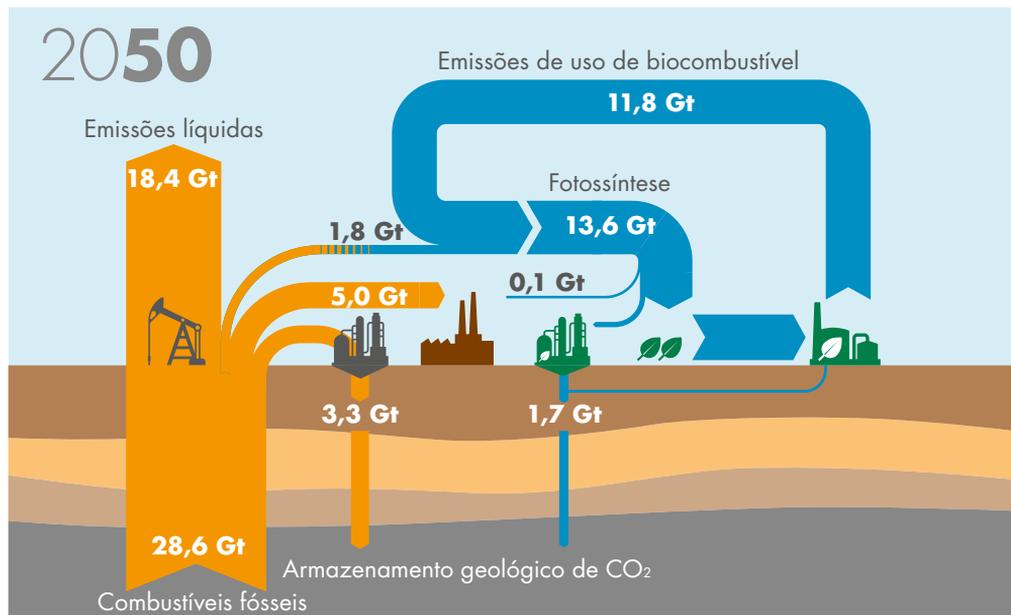
O BALANÇO DO SISTEMA ENERGÉTICO DE CO₂ EM EVOLUÇÃO NO SKY

🏠 Produção de combustível fóssil
 🏭 CCS
 🌱 Produção de biocombustível
 🏭 Bioenergia com CCS
 🏭 Carbono em produtos
 🌱 Produção de biomassa

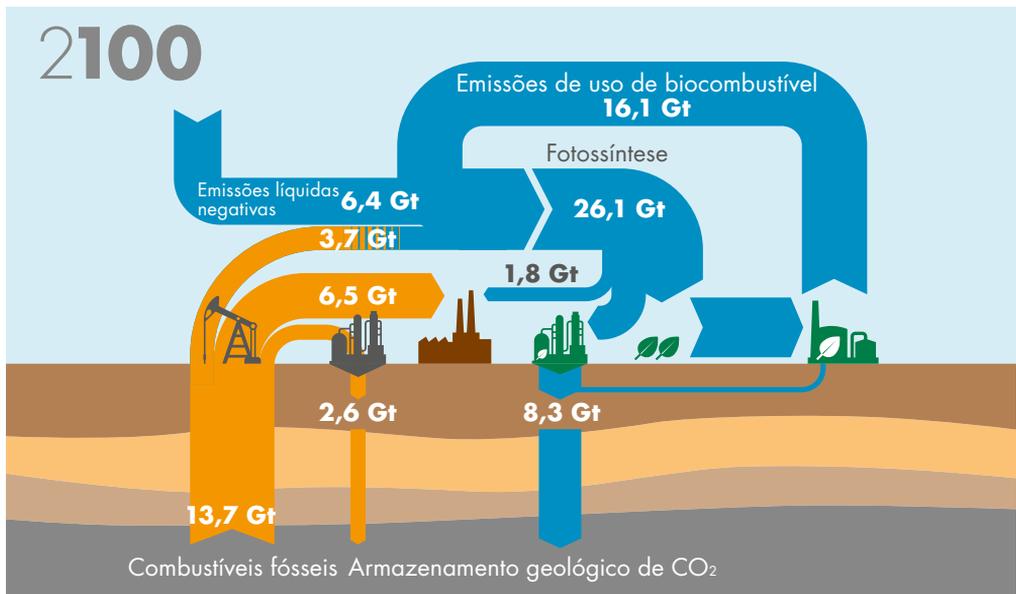


Hoje, a maioria do carbono na produção de energia fóssil é queimada e emitida para a atmosfera, enquanto o CO₂ absorvido pela madeira e outras plantas usadas para energia também é devolvido à atmosfera.

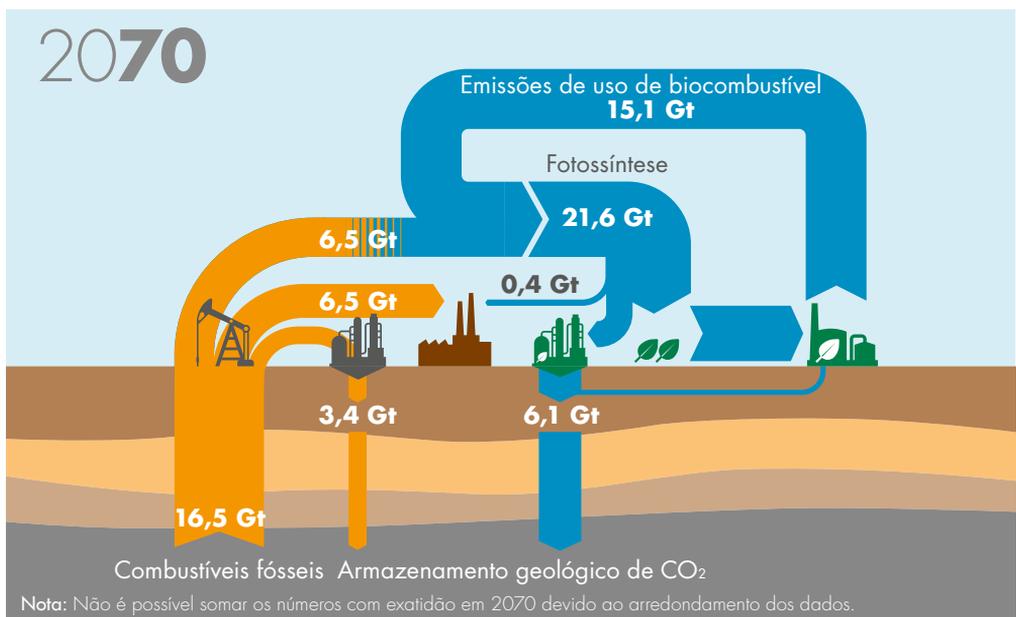
60



No Sky, em 2050, o armazenamento de CO₂ aumenta rapidamente. Existem contribuições iguais a partir do carbono incorporado na produção de materiais e CCS. A CCS de energia fóssil está na liderança, mas a CCS de bioenergia (BECCS) vem logo atrás.



No **Sky**, em 2100, o sistema de bioenergia atinge seu limite de recursos e tem o dobro do tamanho do sistema de energia fóssil em termos de CO₂. O gerenciamento ativo de CO₂ significa que o sistema energético total está promovendo uma redução de CO₂ da atmosfera.



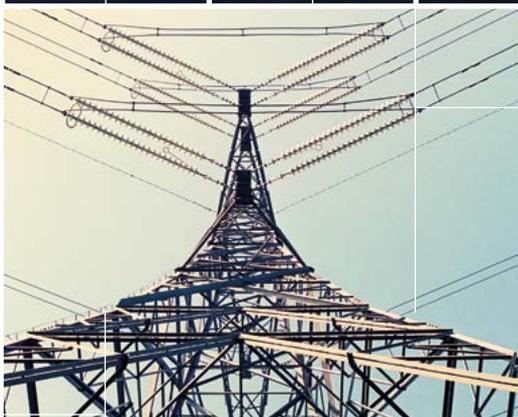
Nota: Não é possível somar os números com exatidão em 2070 devido ao arredondamento dos dados.

No **Sky**, em 2070, o sistema energético alcança zero emissão líquida. A produção de energia fóssil é menos da metade do nível atual. Juntamente com a CCS direta e o uso de carbono para materiais, as emissões remanescentes de energia fóssil são totalmente compensadas pelo CO₂ capturado de um sistema de bioenergia expandido.





15 2020 2025 2030 2035 2040 2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

20

CAPÍTULO 7

A REALIZAÇÃO DO ACORDO DE PARIS

7. A REALIZAÇÃO DO ACORDO DE PARIS

No **Sky**, depois de 2070, a captura de carbono está em torno de 12 Gt por ano, mas o uso de combustível fóssil continua em queda. Isso leva o sistema energético global a um cenário de emissões negativas, que recai sobre o carbono acumulado na biosfera. Como resultado, o aquecimento atinge seu pico durante a década de 2070, nivelando-se ao longo do século.

Em 2100, o aquecimento do sistema climático é mantido a aproximadamente 1,75°C, de acordo com a análise de especialistas independentes da trajetória de emissões do sistema de energia descrita pelo **Sky**. Além disso, uma importante indústria de remoção de legado de carbono oferece à sociedade do século 22 a oportunidade de uma restauração climática maior.

Além das ações que abordam o sistema energético desenhado no **Sky**, a ação significativa de reflorestamento e a restauração de ecossistemas naturais, como as zonas úmidas, oferecem a possibilidade de limitar o aquecimento para 1,5°C, a ambição final do Acordo de Paris.

É claro que o grande desafio é se existe vontade política e, por trás disso, a vontade da sociedade de colocar em prática e manter as estruturas necessárias para enfrentar essa tarefa inspiradora – reconectar toda a economia mundial nos próximos 50 anos.

O cenário Sky determina o que acreditamos ser uma rota tecnológica, industrial e economicamente possível para o futuro. Isso deve nos dar alguma esperança e, talvez, alguma inspiração. Em termos mais práticos, talvez esta análise possa fornecer dicas úteis para áreas onde a atenção pode produzir melhores resultados.



O futuro depende do que fazemos no presente.

Mahatma Gandhi



Reconhecimentos

Agradecemos às muitas pessoas consultadas externamente na elaboração do **Sky**.

Nossos agradecimentos especiais vão para a The Nature Conservancy.

Gostaríamos de agradecer ao Programa Conjunto sobre Ciência e Política de Mudança Global do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) por avaliar os impactos climáticos do **Sky** e contrastá-lo com os cenários **Mountains** e **Oceans**.

Para o cenário **Sky**, o MIT modelou o impacto usando sua estrutura IGSM (Integrated Global System Modeling). A Shell doou US\$ 100.000 para o Programa Conjunto em reconhecimento ao seu esforço. O MIT publicará um Relatório do Programa Conjunto sobre o trabalho realizado.

Este trabalho é parcialmente fundamentado em dados históricos de World Extended Energy Balances© da Agência Internacional de Energia OECD/IEA 2017. O trabalho foi preparado pela Shell International B.V. e não reflete necessariamente as opiniões da IEA.

Visite www.shell.com/skyscenario para ter acesso a tabelas com dados adicionais e mais informações.

A night landscape featuring a mountain range in the background and a body of water in the foreground. The sky is dark with visible stars and a faint aurora borealis. The water reflects the sky and the mountains. The overall color palette is dominated by dark blues and purples.

Sky, estendendo os cenários **Mountains** e **Oceans**

GLOSSÁRIO

Unidades de energia

bcma	bilhões de metros cúbicos por ano
GJ	gigajoule (10^9 joules). O joule, J, é uma unidade de energia; são necessários 4,2 J para aquecer um grama de água a 1°C .
EJ	exajoule (10^{18} joules)
kWh	kilowatt-hora (existem 3.600 J por Wh). A unidade Wh é comumente usada na geração de eletricidade, e o J para energia no sentido mais amplo.
TWh	terawatt-hora (10^{12} watt-hora ou um trilhão de watt-horas). Uma usina de energia de GW que opera 300 dias por ano produzirá cerca de sete TWh.
GW	gigawatt (10^9 watt, um bilhão de watts). Uma usina de energia de um GW é o tamanho normal de uma instalação moderna de energia gerada a carvão, a gás ou energia nuclear.
Gt	gigatonelada (10^9 toneladas)

Outros termos

BECCS	bioenergia com captura e armazenamento de carbono
CCS	captura e armazenamento de carbono
CCU	captura e uso de carbono
EV	veículo elétrico, definido como veículo à bateria elétrica ou veículo elétrico híbrido plug-in
FCEV	veículo elétrico de célula de combustível
GLP	gás liquefeito de petróleo
NBS	soluções baseadas na natureza; o uso de prevenção contra desmatamento, reflorestamento e outra restauração de ecossistemas naturais
NDC	contribuição determinada nacionalmente; as ações realizadas pelos países para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa nos termos do Acordo de Paris
NZE	zero emissão líquida, ou seja, um equilíbrio entre as emissões antropogênicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa
energia primária	o fornecimento de fontes de energia, incluindo petróleo, gás natural, bioenergia, energia nuclear e energias renováveis. A energia primária é retirada da natureza, em sua primeira forma de uso.
energia final	a demanda por transportadores de energia, como eletricidade e combustíveis líquidos, por consumidores finais, como indústrias, residências e transporte, para todos os seus usos de energia. Quando o gás natural é usado para aquecimento residencial, é contabilizado como energia final; quando é usado para gerar eletricidade em uma usina de energia, e contabilizado como energia primária.
solar PV	painéis solares fotovoltaicos usados para geração de eletricidade

AVISO LEGAL

Este material contém dados do novo Cenário **Sky** da Shell. Ao contrário dos cenários exploratórios da Shell **Mountains** e **Oceans** publicados anteriormente, o Cenário **Sky** é direcionado pela suposição de que a sociedade atinja o objetivo do Acordo de Paris de manter as temperaturas médias globais abaixo de 2°C. Diferentemente dos cenários **Mountains** e **Oceans** da Shell, que se desdobram de forma aberta com base em suposições e quantificações plausíveis, o Cenário **Sky** foi desenvolvido especificamente para alcançar o objetivo do Acordo de Paris de uma maneira tecnicamente possível. Esses cenários fazem parte de um processo contínuo usado na Shell há mais de 40 anos para desafiar as perspectivas dos executivos sobre o ambiente empresarial do futuro. São projetados para ampliar o gerenciamento e considerar inclusive eventos que possam ser apenas remotamente possíveis. Portanto, os cenários não pretendem ser previsões de eventos ou resultados futuros prováveis, não devendo os investidores se basear neles ao tomar uma decisão de investimento em relação às ações da Royal Dutch Shell plc.

Além disso, é importante notar que o atual portfólio da Shell está há décadas em desenvolvimento. Embora acreditemos que nosso portfólio seja resiliente sob uma ampla variedade de perspectivas, incluindo o cenário 450 da IEA (World Energy Outlook 2016), ele inclui ativos em um espectro de intensidades de energia, incluindo alguns com intensidade acima da média. Embora procuremos aumentar a intensidade média de energia de nossas operações por meio do desenvolvimento de novos projetos e desinvestimentos, não temos planos imediatos de migrar para um portfólio de emissão zero ao longo de nosso horizonte de investimento de 10 a 20 anos. Embora não tenhamos planos imediatos para migrar para um portfólio de emissão zero, em novembro de 2017, anunciamos nossa ambição de reduzir nossa pegada líquida de carbono de acordo com a implementação pela sociedade do objetivo do Acordo de Paris de manter a temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais. Assim, assumindo que a sociedade se alinha com os objetivos do Acordo de Paris, pretendemos reduzir nossa pegada líquida de carbono, o que inclui não

apenas nossas emissões diretas e indiretas de carbono, associadas à fabricação dos produtos energéticos que vendemos, mas também as emissões de nossos clientes a partir do uso dos produtos energéticos que vendemos, em 20% em 2035 e em 50% em 2050.

As empresas nas quais a Royal Dutch Shell plc têm investimentos direta ou indiretamente são pessoas jurídicas separadas. Neste material, as expressões "Shell", "Grupo Shell" e "Royal Dutch Shell" são às vezes usadas por conveniência quando forem feitas referências à Royal Dutch Shell plc e suas subsidiárias em geral. Da mesma forma, as palavras "nós" e "nossas" são usadas também para se referir a subsidiárias em geral ou àqueles que trabalham para elas. Essas expressões também são usadas onde não há propósito útil em identificar a empresa ou empresas específicas. "Subsidiárias", "subsidiárias da Shell" e "empresas da Shell" quando usados neste material, se referem a empresas nas quais a Royal Dutch Shell plc, direta ou indiretamente, tem controle. Entidades e organizações não incorporadas nas quais a Shell tem controle conjunto, são geralmente referidas como "joint ventures" e "joint operations", respectivamente. Entidades nas quais a Shell tem influência significativa, mas nenhum controle e nem controle conjunto, são referidas como "associados". O termo "interesse da Shell" é usado por conveniência para indicar o interesse de propriedade direta e/ou indireta mantido pela Shell em um empreendimento, parceria ou empresa, após a exclusão de todos os interesses de terceiros.

Este material contém declarações prospectivas em relação à condição financeira, resultados de operações e negócios da Royal Dutch Shell. Todas as declarações que não sejam de fatos históricos são, ou podem ser consideradas como, declarações prospectivas. As declarações prospectivas são afirmações de expectativas futuras que são baseadas nas expectativas atuais de administração e suposições, e envolvem riscos conhecidos e desconhecidos, além de incertezas que podem fazer com que os resultados, desempenho ou eventos atuais sejam diferentes materialmente daqueles expressos ou implícitos nestas declarações. Declarações prospectivas incluem, entre outras, afirmações em relação

à exposição potencial da Royal Dutch Shell aos riscos de mercado, e declarações que expressam expectativas de administração, crenças, estimativas, previsões, projeções e suposições. Essas declarações prospectivas são identificadas pelo uso de termos e frases, como "antecipar", "acreditar", "poderia", "estimar", "esperar", "metas", "pretender", "poder", "objetivos", "perspectiva", "plano", "provável", "projeto", "riscos", "cronograma", "procurar", "deveria", "objetivo", "irá", além de termos e frases semelhantes. Há vários fatores que podem afetar operações futuras da Royal Dutch Shell e poderiam fazer com que os resultados sejam diferentes materialmente daqueles expressos nas declarações prospectivas incluídas nesta página da web, incluindo (mas sem se limitar): (a) flutuações de preços do petróleo cru e gás natural; (b) mudanças na demanda de produtos da Shell; (c) flutuações de câmbio; (d) resultados de prospecção e produção; (e) estimativas de reservas; (f) perda de participação de mercado e concorrência industrial; (g) riscos ambientais e físicos; (h) riscos associados com a identificação de propriedades de aquisição potencial adequadas e objetivos, além da negociação bem-sucedida e conclusão de tais transações; (i) risco de fazer negócios em países emergentes e países sujeitos a sanções internacionais; (j) evolução legislativa, fiscal e regulatória, incluindo medidas regulatórias que tratam da mudança climática; (k) condições econômicas e financeiras do mercado em vários países e regiões; (l) riscos políticos, incluindo os riscos de expropriação e renegociação de termos contratuais com entidades governamentais, atrasos ou progresso na aprovação de projetos e atrasos no reembolso para custos compartilhados; e (m) mudanças nas condições comerciais. Não pode haver garantia de que os pagamentos de dividendos futuros sejam os mesmos ou excedam os pagamentos de dividendos anteriores. Todas as declarações prospectivas contidas neste material são qualificadas expressamente em sua totalidade pelas declarações de cautela ou referidas nesta seção. Os leitores não devem confiar plenamente nas declarações prospectivas. Fatores de risco adicionais que podem afetar os resultados futuros estão contidos no Formulário 20-F da Royal Dutch Shell para o ano que finalizou em 31 de dezembro de 2017 (disponível em www.shell.com/investor

e www.sec.gov). Esses fatores de risco também caracterizam expressamente todas as declarações prospectivas contidas neste material e devem ser considerados pelo leitor. Cada declaração prospectiva se aplica apenas a partir da data desta publicação [**26 de março de 2018**]. Nem a Royal Dutch Shell e nem quaisquer de suas subsidiárias têm qualquer obrigação de atualizar publicamente ou revisar qualquer declaração prospectiva como resultado de novas informações, eventos futuros ou outras informações. Tendo em vista esses riscos, os resultados podem diferir materialmente daqueles declarados, implícitos ou inferidos de declarações prospectivas contidas nesta página da web.

Podemos ter usado determinados termos, como "recursos" neste material, os quais a Comissão de Valores Mobiliários (SEC) dos Estados Unidos nos proíbe estritamente de incluir em nossos registros com a SEC. Os investidores dos EUA são encorajados a considerar em detalhes a divulgação de nosso Formulário 20-F, Arquivo nº 1-32575, disponível no site da SEC www.sec.gov. Você também pode obter este material na SEC, pelo telefone 1-800-SEC-0330

2020

2025

2030

2035

2040

2045

www.shell.com/skyscenario

© 2018 Shell International B.V.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, publicada ou transmitida, de qualquer forma ou por qualquer meio, sem a permissão prévia por escrito da Shell International B.V.