

“DEVAGAR COM O ANDOR QUE O SANTO É DE BARRO”¹

A sociedade contemporânea vem duelando com o consumo massificado de determinados temas que exigem profundidade, mas viralizam na forma de conteúdo acessível. Essa leniência intelectual posiciona tópicos do desenvolvimento sustentável global em risco de indevida interpretação. A discussão em torno da transição energética, por envolver a harmonização de múltiplas dimensões do comportamento humano, acaba se enfraquecendo dentro deste contexto. Se por um lado a sociedade reconhece o problema, compreendendo o efeito da concentração de carbono na atmosfera e suas implicações severas no desequilíbrio do clima, por outro não é capaz de renunciar aos ganhos de bem-estar que a domesticação da energia proporciona. Isso se manifesta de modo tão evidente que causa assombro a distração coletiva em reconhecer a dependência e subordinação de nossa jornada de desenvolvimento a partir da disponibilidade energética. Lembra a história de dois jovens peixes que esbarram em um peixe idoso que os saúda com um “Bom dia, rapazes, como está a água?”. Após algum tempo nadando, os jovens se entreolham e indagam: “O que diabos é água?!”. Olhe em volta. Se você mirar um objeto não biológico, provavelmente ele é fruto, direta ou indiretamente, de hidrocarbonetos fósseis.

As discussões insistem em bordões empurrados de cima para baixo: “a humanidade não pode mais queimar combustíveis fósseis”, ou “o mundo tem que transicionar para uma matriz energética limpa”. Se escondem no planalto, enquanto na planície, esquecem que é das interações de bilhões de indivíduos, arbitrando decisões individuais cotidianas em função de sua própria sobrevivência, que nasce o conceito de humanidade. E ninguém tem disposição de cortar na própria carne. Trata-se do apego à narrativa duelando com a realidade desnuda. Sem contar o excesso de gente gastando carbono para convencer o mundo a gastar menos carbono². Definição clássica do trágico.

Mobilizações com o objetivo de reduzir emissões e salvar a humanidade do risco iminente, por mais respeitáveis que sejam, somente sustentam-se no tempo ao atuarem dentro do binômio preço e geopolítica. Não interessa quantas COPs organizemos, se as alternativas postas não oferecem competitividade ou soberania, a reflexão seguirá sobrepondo a ação.

A redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE) nas últimas décadas teve como principal vetor a redução no uso de carvão para geração de eletricidade. Nos EUA, entre 2007 e 2023, as emissões de GEEs no setor de energia foram reduzidas em mais de 20%, representando metade de toda a redução de emissões feita por países da OCDE³. Mesmo com o consumo de eletricidade subindo. Essa redução foi resultado da

¹ Ditado popular

² Mais de 80 mil pessoas se deslocaram até a COP 28 em Dubai para discutir, em salas climatizadas no meio do deserto, estratégias para reduzir emissões de gases de efeito estufa.

³ O dado de emissão de GEEs de países da OCDE deve ser analisado com cautela, dado que parte importante da manufatura foi sendo gradualmente terceirizada para outros países, com destaque para a China. O uso de energia per-capita nos países desenvolvidos

exploração em escala do *shale gas* por meio do fraturamento hidráulico, o famoso *fracking*. O evento mais relevante no mundo da energia e da geopolítica, desde a crise do petróleo na década de 70.

Essa crise foi um marco para os países que não eram autossuficientes em petróleo. Na época foi criada a Agência Internacional de Energia (IEA na sigla em inglês) com o objetivo de auxiliar os países da OCDE a coordenar medidas de segurança energética e ação coletiva, servindo como um contraponto à OPEP. O período é marcado por incentivos à produção local de petróleo, além de um *boom* na energia nuclear, que salta de 1% da matriz energética europeia em 1973 para pouco mais de 10% em 1989. Nesse contexto, o Japão inicia o primeiro projeto global de incentivo à fonte solar, chegando a representar metade de todas as instalações do mundo em 1999. No Brasil, respondemos com a construção de grandes usinas hidrelétricas. Representamos 20% de toda a geração hídrica global adicionada na década que sucedeu a primeira crise do petróleo. Além disso, criamos o Programa Nacional do Álcool, desenvolvendo a indústria do etanol de cana de açúcar e nos lançando como protagonistas dos biocombustíveis - em 1990, representávamos 80% de toda a produção global. Os EUA nos ultrapassaram apenas em 2005 com a criação do programa *Renewable Fuel Standards*⁴ (RFS), resposta à reaceleração nos preços do petróleo no início dos anos 2000 em um contexto de franco declínio da produção doméstica de óleo, reduzida em 2005 a 70% do topo apresentado 20 anos antes.

Em seguida, com o *boom* de produção do *shale* americano, os EUA redistribuíram as cartas da geopolítica global. Reduziram sua histórica dependência nas importações de energia, desafiaram o domínio da Rússia no mercado de gás natural e, de bônus, diminuíram a influência do Oriente Médio em sua política externa. Enquanto isso, do outro lado do Atlântico, na caquética Europa, a excitação em relação às renováveis e a vilanização de determinadas fontes acabou provocando danos à sociedade e embaçando a visão do xadrez geopolítico. A política verde da social-democracia alemã simboliza essa perseguição ingênua de metas unidimensionais. Ao reduzir a geração nuclear tornou-se refém voluntária do gás importado, fabricando dependência de um país historicamente distante dos valores ocidentais. Acabou por renunciar parte de sua soberania⁵, e vem sofrendo as consequências. Hoje, para reduzir sua dependência da Rússia, a Europa depende da importação do gás natural liquefeito (GNL) de países estrangeiros. Nesse contexto, o maior exportador global — os EUA do pós-*shale* — conquista uma influência inquestionável. Já a indústria eletrointensiva alemã, responsável por algo como 6% do PIB e 8 milhões de empregos, se tornou vulnerável.

A partir dessa leitura, cabe o questionamento de qual será o papel do Brasil nesse tabuleiro. Nosso protagonismo midiático é indiscutível, somos uma espécie de celebridade da transição energética. Representamos apenas 2% do consumo global de energia mas produzimos 8% de toda a energia limpa. Nos últimos 5 anos fomos o terceiro país que mais instalou potência de geração eólica, o quinto em potência

quando ajustado pela intensidade energética dos bens importados é 30% maior [Thunder Said Energy - Global energy demand: false ceiling?]

⁴ O RFS é um programa federal dos Estados Unidos que estabelece metas anuais de mistura de combustíveis renováveis, como etanol e biodiesel, ao diesel e à gasolina. Refinarias e importadores de combustíveis fósseis devem acumular créditos chamados Renewable Identification Numbers (RINs), que podem ser gerados pela mistura física de biocombustíveis ou então adquiridos de terceiros.

⁵ A União Europeia produzia dois terços de toda a energia consumida em 1990, com destaque para o carvão, o gás natural e para as nucleares. Passados pouco mais de 30 anos, a fotografia não é nada animadora. Mesmo com as fontes renováveis já representando 10% da demanda de energia, o bloco hoje só produz 43% do que consome.

solar⁶ e o terceiro em produção marginal de biocombustíveis. Com isso, foi difundida a convicção de que a transição energética é a nossa ponte para o futuro. Essa é, no entanto, apenas parte da história. Nossa relevância não se limita às renováveis, estamos também entre os 10 maiores produtores de petróleo do mundo. Se impõe o dilema. Como devemos lidar com essa tensão entre continuar produzindo hidrocarbonetos ou migrar de vez para esse papel de potência verde? A ideia de explorar óleo em novas fronteiras ou de ampliar nossas reservas a partir do fraturamento hidráulico deve ser abandonada em nome dessa nossa ambição de figurar na vanguarda ambiental? Será que o resto do mundo tem disposição de pagar prêmio por nossos atributos verdes? Faz sentido apontar nossos canhões em direção às eólicas offshore, ao hidrogênio verde ou ao combustível sustentável de aviação?

Como o capital alocado hoje será instrumental no sucesso da jornada, selecionar as fontes de energia competitivas e viáveis, respeitando as idiosincrasias regionais, torna-se uma investigação reflexiva indispensável ao país. A escolha das políticas energéticas adequadas não é simples. Não podemos cair na sedução das narrativas confortáveis encomendando pesados efeitos adversos que demoram a se materializar.

“ESPERE SENTADO / OU VOCÊ SE CANSA / ESTÁ PROVADO, QUEM ESPERA NUNCA ALCANÇA”⁷

Não foi com foco no carbono que o Brasil desenvolveu uma matriz energética limpa. Nosso espetacular potencial hidrelétrico é fruto de uma geografia abençoada. Feliz obra do acaso. Já nossa inclinação para o cultivo de cana de açúcar remonta ao nosso clima privilegiado e aos interesses dominantes na época colonial. Um mero acidente histórico. O carbono nunca esteve no centro das decisões, a obsessão sempre foi ampliar a oferta garantindo a soberania posta em cheque a partir das crises do petróleo na década de 70. Ao perceber o risco que a dependência externa representava, o país não mediu esforços para garantir autossuficiência no seu abastecimento energético. Enquanto desenvolvíamos hidrelétricas e biocombustíveis, inauguramos também a exploração de petróleo *offshore*, dobrando nossa produção doméstica em uma década conturbada e ficando as fundações que vão viabilizar nosso futuro papel de referência na exploração em águas profundas.

No atual *zeitgeist* da descarbonização, essa matriz se torna motivo de orgulho. A partir dela buscamos o papel de líderes da transição energética e com isso almejamos ampliar nossa relevância econômica e geopolítica. Mas assim como nós chegamos até aqui sem focar no carbono, parece ingênuo acreditar que outros países estariam dispostos a pagar prêmio por nossos atributos renováveis sem que isso se reflita em benefícios diretos quantificáveis.

A questão é que esse tema costuma receber tratamento excessivamente superficial. Os chavões repetidos *ad nauseum* ignoram um sem número de desafios, o que empobrece a discussão. A matriz energética de uma

⁶ Quando olhamos para a energia efetivamente gerada subimos uma posição no ranking dado o vergonhoso fator de capacidade solar da Alemanha, quarto lugar em termos de potência instalada no período mas décimo segundo em termos de geração efetiva.

⁷ Trecho da música Bom Conselho de Chico Buarque

sociedade moderna é seu pilar de sustentação, reconstruí-la é uma atividade fundamentalmente disruptiva e complexa. A análise diligente dessas avenidas potenciais é invariavelmente técnica, produzindo conteúdo por vezes árido e de leitura pouco agradável. Por conta disso, optamos por compartilhar nessa carta a análise de dois temas apenas: a energia solar e o hidrogênio verde.

A energia solar está no campo dos bem sucedidos. Gabarita os dois atributos do binômio preço e soberania. Sua natureza descentralizada garante independência energética e seu baixo custo, competitividade. Não à toa é a fonte de energia com maior velocidade de crescimento na história⁸. No Brasil, a energia fotovoltaica representou dois terços da nossa potência marginal instalada nos últimos 5 anos, se consagrando como a segunda maior fonte de energia em termos de potência, atrás apenas das hidrelétricas⁹. Para entender as causas e consequências desses resultados tão impressionantes vamos mergulhar um pouco mais fundo nesta história, apontando os inevitáveis desafios que nascem a partir do seu próprio sucesso.

I FEAR NOT THE MAN WHO HAS PRACTICED 10,000 KICKS ONCE, BUT I FEAR THE MAN WHO HAS PRACTICED ONE KICK 10,000 TIMES¹⁰

A acumulação de conhecimento por meio da repetição é o elemento fundamental que permite reduzir custos em um processo industrial. A regra é clara: quanto mais se faz, mais se aprende e mais barato fica. Entre 1975 e 2010, o preço dos painéis solares caiu 98%. Na década seguinte caiu outros 90%¹¹. É a fonte de energia com a maior redução de custos a cada duplicação de capacidade na história¹². Seu processo industrial consiste na construção contínua de inúmeros pequenos módulos praticamente idênticos. Essa natureza modular potencializa a curva de aprendizado.

Um aspecto ignorado, ao se relatar a jornada virtuosa de competitividade solar, é a relação simbiótica com a indústria de semicondutores. O silício hiper purificado cortado em wafers finos e dopado com elementos químicos a fim de criar interfaces entre lados positivos e negativos é o que permite controlar o fluxo de elétrons da maneira desejada em cada uma das aplicações. Assim, ambas as cadeias produtivas compartilham tanto a matéria prima central quanto parte da técnica de manufatura, além de se beneficiarem dos investimentos massivos em P&D. O rio corre mesmo para o mar.

Vários foram os países que se jogaram na aventura da energia solar. Referenciamos o esforço do Japão na década de 70 para reduzir sua dependência do petróleo importado, levando o país a ter quase metade de toda a capacidade de geração fotovoltaica do mundo em 1999. Um número que à primeira vista soa

⁸Carbon Brief - [Wind and solar are 'fastest-growing electricity sources in history'](#)

⁹Essa comparação não é de todo justa por conta do fator de capacidade da fonte solar. A potência efetivamente entregue só equivale à potência nominal em pequena parte do dia.

¹⁰Bruce Lee

¹¹De quando começamos a escrever essa carta até quando ela foi publicada, o preço dos painéis solares na China caiu 60%.

¹²A review of learning rates for electricity supply technologies, Rubin et al. 2015

impressionante, mas que representava apenas 0,02% do consumo de eletricidade do país¹³. Fazendo jus ao clássico provérbio japonês e sua célebre paciência: “Grandes coisas geralmente têm pequenos começos.” Na década de 90 foi a vez da Alemanha impulsionar generosos incentivos a essa indústria, fruto do movimento contrário à energia nuclear, fortalecido após Chernobyl. Substituíram o Japão na corrida, passando a representar quase metade da capacidade instalada global em 2005. Poucos anos depois, no entanto, os incentivos foram encerrados e a indústria colapsou, levando à bancarrota algumas das mais relevantes empresas do setor no país¹⁴. Os espanhóis também moveram-se com avidez. Sua dívida pública federal chegou a expandir em mais de 10% do PIB por conta de uma política de incentivo à energia solar. Poucos anos depois, a Espanha retirou os subsídios de maneira retroativa, e por isso figura até hoje no topo da lista de países europeus com dívidas acumuladas por não cumprimento de acordos comerciais. Sem competitividade, não existe perenidade.

Finalmente, a miopia europeia foi substituída por uma política industrial chinesa obsessiva em escala, que enfim conquistou sucesso na redução de custos a ponto de outorgar competitividade à energia solar. Nesse percurso a China tornou-se o país com a maior potência instalada no mundo já em 2015, alcançando depois 40% do total de instalações. Apenas no ano de 2023, foi responsável por instalar uma potência de geração solar 10% superior ao somatório de Japão, Alemanha e Espanha combinados ao longo das últimas cinco décadas.

Essa conquista do domínio industrial carregou custos, mas a teoria dos jogos da geopolítica pode ajudar a entender porque fazia sentido incorrê-los. A China consumiu nos últimos três anos uma média de 15,5 milhões de barris de óleo por dia, dos quais produziu apenas 4,1 milhões. O custo médio dessa diferença a preços de mercado seria da ordem de 340 bilhões de dólares por ano, de longe o maior ofensor ao saldo em conta corrente do país. Esse número só não foi maior porque os módulos fotovoltaicos geraram em 2023 uma energia equivalente a de 2,7 milhões de barris. Com o protagonismo conquistado em todos os elos da cadeia produtiva da energia solar¹⁵, a China ao mesmo tempo reduz sua dependência do óleo importado, aumenta sua pauta de exportações, reduz seu custo marginal de produzir energia e ganha proeminência em qualquer discussão global relacionada a transição energética. Fez barba, cabelo e bigode.

Hoje, a energia solar é a fonte mais competitiva para adições de capacidade¹⁶. Isso não significa que as outras fontes estão condenadas à irrelevância, ou que seja possível desfrutar de um futuro com grids 100% renováveis. A inserção desse tipo de energia no sistema não é nada trivial. Seus atributos demandam planejamento e alguma dose de cautela.

¹³ Que por sua vez representava apenas 17,5% de toda a energia consumida.

¹⁴ O caso mais notório é o da Q-Cells, ex-flagship da transição energética alemã, que foi de maior produtora de painéis solares do mundo à *bancarrota* poucos anos depois. Esse destino foi compartilhado com diversas empresas do setor no país: [Solon](#), [Solarhybrid](#), [Odersun](#), [Centrotherm](#)...

¹⁵ Em 2021, a China detinha 72% da capacidade mundial de fabricação de polissilício, 98% dos lingotes, 97% das lâminas, 81% das células e 77% dos módulos [[US DOE - Solar Photovoltaics Supply Chain Deep Dive Assessment](#)]

¹⁶ Com exceções naturais de geografias que não contam com uma presença tão constante do sol.

"THERE ARE NO SOLUTIONS, ONLY TRADE-OFFS"¹⁷

A eletricidade é uma espécie de *commodity* instantânea. Sua produção e consumo devem ser simultâneos. Operar um sistema elétrico significava, até outro dia, garantir que houvesse geração suficiente para suportar a demanda a cada instante. A equação era simples - consumo diminuiu, gera-se menos; consumo aumentou, gera-se mais. As fontes de energia intermitentes seguem outra lógica, já que não podem ser convocadas a despachar. São como funcionários competentes, mas que só aparecem no escritório quando querem. Podem compor bem um time, mas é difícil depender deles. Quando a geração intermitente diminui, o novo equilíbrio pode ocorrer de dois modos: ou incrementamos a geração de outras fontes para atender o mesmo nível de demanda, ou reduzimos o consumo até que ele se iguale à geração. Para ajustar pela oferta, dependemos necessariamente de manter fontes firmes em *stand-by* em quantidades capazes de lidar com a volatilidade potencial. Não à toa, enquanto a China esbanjava recordes na adição de capacidade renovável, também instalava quantidades inéditas de termelétricas movidas a carvão. Sem capacidade de geração despachável suficiente¹⁸, se impõe a alternativa de ajuste pelo consumo. O famoso apagão. No cenário oposto, ou seja, quando o potencial de geração intermitente cresce, temos três novos equilíbrios possíveis: ou reduzimos a geração das fontes controláveis¹⁹, ou aumentamos o consumo²⁰, ou impedimos a geração intermitente de injetar energia na rede, um fenômeno conhecido como *curtailment*. Em bom português: “jogar energia fora”.

Quando a capacidade de geração é superior à capacidade de escoamento ou de consumo naquele instante, não há alternativa senão restringir a injeção de energia na rede. No Brasil já vemos *curtailments* pontuais de 80% nas manhãs de domingo, quando a demanda não tem capacidade de digerir a oferta renovável intermitente. Nesse instante, essa energia custou cinco vezes mais, já que o custo é fixo e grande parte foi para o lixo. O *curtailment* é, portanto, a variável chave para entender o limite de penetração de fontes renováveis. Um modelo teórico sem restrições de escoamento²¹ e sem armazenagem com 30% de fator de capacidade e 35% de penetração da fonte solar se traduz em um *curtailment* médio de apenas 2%²². Ao expandir essa penetração de 35% para 40%, essa média de restrição cresce de 2% para 15%. Mais relevante que a média, no entanto, é o *curtailment* marginal dessa energia adicionada, que já seria da ordem de 56%. Quanto mais subimos essa penetração, mais gritante é esse efeito. Para levar a fonte solar de 40% para 42,5% do grid, o *curtailment* marginal já vai para a casa dos 83%. Isso significa que a energia adicional deve custar

¹⁷ Thomas Sowell

¹⁸ Suficiente do ponto de vista não puramente físico, mas também econômico e técnico, respeitando limitações de transmissão, velocidade de rampa, etc.

¹⁹ Isso nem sempre é possível pelos mais diversos motivos. No caso do Brasil, por exemplo, as hidrelétricas têm um componente inflexível relevante por conta dos usos múltiplos da água. Desligar uma hidrelétrica em muitos casos significa interromper o fluxo de um rio e, por consequência, toda a economia que dele depende.

²⁰ O grid elétrico como conhecemos nasceu a partir da sacada de Edison de desenhar uma precificação vantajosa a fim de atrair consumidores industriais para o sistema nos momentos de excesso de geração.

²¹ As restrições elétricas e de confiabilidade representam atualmente no Brasil um volume 3 vezes maior do que as restrições energéticas que estamos descrevendo nesse exemplo teórico.

²² Do modelo parte de um fator de capacidade de 30%, de forma que para alcançar uma penetração de 35% se faz necessário construir uma capacidade de geração superior à carga. Com isso, no momento de pico de geração, precisamos necessariamente jogar parte da energia fora

quase seis vezes mais apenas para equilibrar a equação financeira com o mesmo nível de retorno. Para a energia nova é como se todo dia fosse domingo.

As baterias são candidatas naturais para solucionar parte desse quebra-cabeça. Ao adicionar algumas horas de armazenamento, podemos suavizar a curva de geração solar e evitar o desperdício de energia. Mas a complexidade desponta na matemática financeira. Ainda que o custo das baterias tenha caído mais de 80% na última década, o investimento absoluto necessário para equilibrar sistemas nessa escala ainda é relevante. Desconsiderando a questão da sazonalidade anual²³, entregar energia de maneira constante ao longo do dia significa pelo menos dobrar o custo em um parque solar brasileiro típico²⁴. Essa equação pode se alterar caso a tendência de queda de preços se mantenha. Infelizmente trata-se de um cenário ainda recheado de incertezas. A queda de custos observada ocorreu predominantemente no componente industrial. Os custos de manufatura, que representavam cerca de 90% do total em 2012, hoje já correspondem a menos de 30%. A ambição de quedas continuadas depende portanto do preço das commodities ou de inovações químicas na composição das baterias.

Os desafios rumo ao incremento da penetração de fontes renováveis não são apenas de ordem temporal. Além de lidar com o problema do “quando” a energia é gerada, devemos também tratar do problema do “onde”. A combinação de terra disponível e abundância de recursos renováveis se faz presente longe dos centros de consumo. É no nordeste do Brasil que dispomos de 82% da capacidade instalada de eólica e solar, porém apenas 16% da demanda de eletricidade. Para que esse excesso de energia chegue aonde precisa de forma confiável devemos investir em infraestrutura de transmissão²⁵. E já que dimensionamos a infra para o momento do pico de geração, inevitavelmente construiremos um ativo parcialmente ocioso. Como em qualquer negócio de custo fixo, maior ociosidade se traduz em maior preço unitário. Fica evidente o paradoxo: adicionar energia mais barata pode significar ter energia mais cara.

A Geração Distribuída (GD) é, em teoria, uma boa solução para esse problema do “onde”, já que a geração é instalada no local do consumo. Na prática, no entanto, essa fonte de energia traz mais problemas do que soluções. A expansão desenfreada que vimos nos últimos anos se viabilizou nas costas do consumidor cativo que seguiu comprando energia das distribuidoras. Quem tinha capital e espaço suficiente para instalar painéis solares se beneficiou do *net-metering*, que nada mais é do que o direito de não pagar todos os outros componentes da tarifa: energia gerada quando só a do sol não basta, remuneração das distribuidoras e das transmissoras, encargos setoriais variados e impostos²⁶. Esse valor não pago é rateado pelos consumidores que sobraram, aumentando a tarifa e criando, portanto, um incentivo ainda maior para a migração para a GD.

²³ Uma bateria que atua na modulação horária é acionada cerca de 16 horas por dia de pouca/nenhuma intensidade solar, enquanto uma bateria com ambições de lidar com a sazonalidade, se despachada por um semana, seria acionada por 168 horas. Ao longo de um ano é uma diferença da ordem de 35 vezes, o que faz com que o investimento na bateria sazonal apresente grande dificuldade de ser amortizado, dificilmente sendo mais competitivo do que outras alternativas de suprimento

²⁴ Exercício considerando curva de geração horária média de um parque solar, o que significa adicionar pouco menos de 4x a capacidade do parque em baterias para uma entrega média flat. Nessa configuração, o parque não consegue entregar a energia em cerca de 15% do tempo, ficando exposto ao mercado de curto prazo. Para garantir a entrega em 95% do tempo, o custo das baterias fica proibitivo (motivo elencado no footnote acima), multiplicando o preço por outras quatro vezes.

²⁵ Nos últimos 3 anos contratamos pouco mais de R\$74 bilhões em investimentos no setor, agregando um custo ao sistema da ordem de R\$9 bilhões por ano, um incremento de 5% nos custos totais.

²⁶ No mundo invertido da geração distribuída até o aumento de impostos vira retorno nos projetos.

A famigerada "espiral da morte" ou política Robin Hood às avessas. Essa estrutura de incentivos turbinada ampliou os efeitos da queda de custos dos módulos fotovoltaicos e removeu qualquer risco de *curtailment* e modulação de preços. Assim, representamos 4% das instalações globais nos últimos cinco anos, mesmo consumindo apenas 2,3% da eletricidade. Isso a despeito da claudicante produção industrial doméstica e do elevado custo de capital brasileiro.

"BY FAILING TO PREPARE, YOU ARE PREPARING TO FAIL"²⁷

Os 3 milhões de projetos solares de GD chegam a gerar 30% de toda a eletricidade do país ao meio dia. E como o sol inevitavelmente se põe, cabe ao Operador Nacional do Sistema (ONS) o desafio de repor essa eletricidade com energia de outras fontes. A abundância de intermitência tem como consequência inevitável, portanto, uma maior demanda por flexibilidade. As hidrelétricas, nosso lastro histórico de sustentação, contam com limitações dadas pelos ciclos hidrológicos e pelos usos múltiplos da água²⁸. Sem potência controlável adicional teremos dificuldade de ofertar a energia necessária para fazer frente a essa rampa de saída da fonte solar. O ONS calcula esse risco de não suprimento de potência em seu Plano da Operação Energética (PEN). Na última versão publicada, ultrapassaremos os níveis julgados como aceitáveis²⁹ já em 2025, tempo insuficiente para reagir de maneira responsável. Nos anos seguintes, a situação só piora. No fim das contas, para lidar com essa fartura de energia solar, vamos depender do bom e velho gás natural, assunto que exploraremos em mais detalhe na carta seguinte.

Estudando sistemas elétricos que passaram por movimentos semelhantes de inserção de fontes renováveis, algumas conclusões se tornam inescapáveis. A primeira delas é a importância do sinal de preço. Na Califórnia, com o modelo de precificação marginal locacional (LMP), é corriqueiro ver preços negativos³⁰ em diversos momentos ao longo do dia, com dispersão significativa entre diferentes pontos de consumo e geração. Sinal soberano para reequilíbrio do mercado, que deve investir em geração onde falta, em consumo onde sobra ou em baterias para transportar energia no tempo. Chama atenção também o estado do Texas, capital do petróleo nos EUA, que diferentemente da Califórnia não desenhou incentivos explícitos ao setor renovável e ainda assim virou o estado com maior quantidade de eólicas e solares, além de segundo lugar em baterias. É o sinal de preço funcionando como a bússola que aponta o norte para os investimentos.

²⁷ Benjamin Franklin

²⁸ Aumentar a geração de uma hidrelétrica significa aumentar a vazão do rio que fica à montante da usina, o que provoca efeitos colaterais em toda a dinâmica biológica e social que fica no entorno. Essas restrições de velocidade de alteração de vazão não fazem parte do modelo de operação do sistema (DESSEM), o que provoca diversas distorções que devem ser alteradas manualmente em um processo chamado de "pós-DESSEM".

²⁹ A Resolução 29 de 2019 do CNPE atribui ao MME a definição dos limites máximos e níveis de confiança para as métricas de risco de adequabilidade de potência e energia.

³⁰ Os preços ficam consistentemente negativos na medida que precisam compensar eventuais incentivos públicos para de fato reduzir a geração indesejada.

No Brasil, nosso PLD³¹ horário é fruto de cálculos estocásticos complexos e de escopo limitado, seguido de ajustes manuais por conta de restrições não explicitadas nos modelos matemáticos. Resiste a cumprir a função clássica da variável preço – equilibrar oferta e demanda. Além disso, pisos e tetos artificiais reduzem seu efetivo poder de sinalização. Nos últimos meses, a precificação horária começou a incorporar finalmente parte da volatilidade do sistema, mas ainda é usual ver programas de Resposta da Demanda, importação de energia e despacho térmico a custos variáveis superiores aos implícitos no PLD. Dito isso, sua sinalização já é suficiente para acender um sinal de alerta nos geradores solares: no mês de outubro de 2024 o preço médio da fonte solar no nordeste ficou cerca de R\$80/MWh menor do que a média³², uma redução de pelo menos um terço na receita do projeto. Se o gerador vendeu a energia em um contrato *flat*, ou seja, entregando a mesma quantidade a cada hora do dia, esses projetos certamente terão dificuldades de gerar o retorno previsto. Com isso, a expansão futura fica comprometida. Enquanto isso, no caso da GD, o preço de venda implícito independe de qualquer condição do sistema. Pagamos preços superlativos mesmo quando não precisamos da energia gerada, o que amplia o efeito negativo para os geradores centralizados³³.

Outro aspecto pouco mencionado nas discussões sobre transição energética, porém de extrema importância nessa nova configuração, é a larga gama de produtos invisíveis que são fundamentais para o pleno funcionamento de um sistema elétrico. Atributos como potência, flexibilidade, regulação de frequência, inércia, *black start*, velocidade de rampa, etc. As hidrelétricas, pilares históricos da nossa matriz, proviam todos esses serviços ancilares de brinde. Em um grid com maior penetração de renováveis intermitentes, o cenário é outro. O desafio regulatório que se impõe é o de criar mecanismos que incentivem o desenvolvimento dos atributos necessários, tarefa atribulada no atual contexto institucional do setor elétrico no país³⁴. Na Califórnia, os serviços ancilares são explicitamente definidos, planejados e contratados, o que garante a confiabilidade da rede e mantém capacidade de geração suficiente para atender a demanda corrente e eventual demanda futura, em níveis estáveis tanto de voltagem como de frequência. No Brasil, a definição, contratação e remuneração desses serviços ancilares acaba sendo feita de maneira indireta nas exigências dos leilões, o que acaba misturando e confundindo os produtos.

No fim do dia, a expressiva queda de custos nos componentes fotovoltaicos e a política massiva de subsídios na forma do *net-metering* alçaram a fonte solar a personagem de destaque no cenário energético brasileiro.

³¹ O PLD é calculado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) utilizando dados distintos dos que balizam a operação efetiva do sistema. Embora o ONS e a CCEE rodem os mesmos modelos matemáticos, os dados de entrada não são uniformes e o resultado dos modelos passa por ajustes manuais na operação em tempo real que não são refletidos na etapa de formação do preço. É uma variável que mais confunde do que esclarece.

³² Explicando o exercício: uma planta teórica com capacidade de 100 MW e 30% de fator de capacidade dispõe de 30MW para vender. O gerador que fecha um contrato com entrega linear deve lidar com um descasamento temporal inevitável dado que o sol não passa 24h no céu: às 12h a usina produz 100 MW e quando o sol se põe produz zero. Assim, o gerador tem uma sobra de 70MW ao meio-dia e um déficit de 30 MW durante a noite. Essa zeragem a preços de mercado representou, no mês de outubro, um custo de R\$80/MWh para os geradores solares do Nordeste.

³³ Se a geração distribuída fizesse parte do rateio dos cortes de geração por falta de demanda (*curtailment energético*), o impacto para os geradores renováveis centralizados seria cerca de 20% menor

³⁴ Estamos assistindo a um enfraquecimento impiedoso das instituições técnicas outrora respeitadas no país: Aneel, CCEE, EPE, ONS - nenhuma passou incólume à incoerência dos que atravessam de maneira perigosa a linha que deveria separar a técnica da política. O legislativo, que por vezes nos tranquiliza fazendo o papel de poder moderador, não traz aqui qualquer alívio - muito pelo contrário. E o judiciário, que deveria ser o fiador das regras e garantidor de estabilidade, se infiltrou sem pudor em assuntos regulatórios complexos para beneficiar agentes privados.

Embora à primeira vista esse fato possa ser positivamente alardeado, reforçando nosso papel de potência verde, estamos começando a sentir na pele os desafios que um grid menos estável impõe à operação do sistema. O sucesso da empreitada ironicamente pode condenar sua expansão. É nesse contexto que o hidrogênio verde desponta como bala de prata. Elemento mágico que é, ao mesmo tempo, bateria de longo prazo, vetor de transporte de energia renovável e pulseirinha para a sala VIP da geopolítica global. Somos céticos. É portanto o segundo tema que escolhemos abordar nessa carta.

FOR A SUCCESSFUL TECHNOLOGY, REALITY MUST TAKE PRECEDENCE OVER PUBLIC RELATIONS, FOR NATURE CANNOT BE FOOLED³⁵

O hidrogênio captura a imaginação dos tecno-otimistas há mais de século. No livro de 1875 "A Ilha Misteriosa", o protagonista de Júlio Verne diz: "um dia, água será empregada como combustível. O hidrogênio e o oxigênio, utilizados isolada ou simultaneamente, fornecerão fonte de calor e luz inesgotáveis e de uma intensidade de que o carvão seria incapaz. A água é o carvão do futuro". Um dos pioneiros do gênero ficção científica detinha certa obsessão na luta do homem para domesticar os elementos da natureza. Em 1923, o cientista britânico J.B.S. Haldane descrevia um futuro no qual os desafios energéticos do Reino Unido seriam superados com turbinas eólicas combinadas com hidrogênio para armazenagem sazonal³⁶. Em 1970, o físico nuclear Lawrence W Jones da Universidade de Michigan escreve um artigo³⁷ no qual conclui que o uso de hidrogênio líquido como combustível seria não apenas exequível, mas desejável, quiçá inevitável - um substituto óbvio para os hidrocarbonetos no século XXI. Com a queda do preço do petróleo na década de 80, o *hype* adormece, até voltar com força na bolha de tecnologia dos anos 2000³⁸. Em 2002, o livro *The Hydrogen Economy*, do autor Jeremy Rifkin, projeta um futuro com produção descentralizada desse combustível milagroso, potencialmente revirando o tabuleiro geopolítico global e acabando com a era dos combustíveis fósseis. Com o *Green Deal* na União Europeia em 2020 e o *Inflation Reduction Act* nos EUA em 2022, o hidrogênio voltou à cena montado em seu cavalo branco pronto para nos salvar da ameaça do aquecimento global, dessa vez com o vento nas costas proporcionado pela contínua queda no preço da energia renovável.

Hoje, consumimos globalmente cerca de 100 milhões de toneladas de hidrogênio, integralmente provenientes de fontes fósseis³⁹. São utilizadas essencialmente como matéria-prima em processos industriais, desde a produção de fertilizantes⁴⁰, até a dessulfurização⁴¹ de petróleo em refinarias. No entanto, para socorrer a humanidade em seu desafio de descarbonização, o hidrogênio precisa ser produzido por meio de outra rota:

³⁵ Richard Feynman

³⁶ <http://bactra.org/Daedalus.html>

³⁷ *Toward a Liquid Hydrogen Fuel Economy* <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/5800/bac5758.0001.001.pdf>

³⁸ *Empresas de hidrogênio como Ballard, Plug e Fuel Cell chegaram a valer coletivamente algumas dezenas de bilhões de dólares. Naturalmente nenhuma delas conseguiu entregar o que estava embutido nas expectativas.*

³⁹ *A principal sendo a reforma do metano (CH₄), que quando combinado com vapor de água (H₂O) e aquecido se transforma em uma molécula de monóxido de carbono (CO) e três moléculas de hidrogênio (H₂). Em seguida o monóxido de carbono reage com água formando dióxido de carbono e mais uma molécula de hidrogênio*

⁴⁰ *Por meio do famoso processo de Haber-Bosch que combina o hidrogênio com o nitrogênio do ambiente para produzir amônia (NH₃)*

⁴¹ *Processo essencial no refino de petróleo, usado para remover compostos de enxofre dos combustíveis fósseis, reduzindo a emissão de poluentes como dióxido de enxofre (SO₂) e melhorando a qualidade dos produtos refinados.*

entra em cena o hidrogênio verde. A partir da energia elétrica renovável quebramos as ligações entre os átomos de hidrogênio e oxigênio da água em um processo chamado eletrólise. Eureka! Isolamos um elemento que queima na mesma temperatura do gás natural tradicional, porém carregando quase 3 vezes mais energia por quilo e sem nenhuma emissão de GEEs. O que na superfície parece uma solução mágica para todas nossas agruras se revela capciosamente complexo a partir de investigação primária.

Com apenas um próton em seu núcleo, o hidrogênio é o elemento mais leve da tabela periódica. Enquanto um metro cúbico de GNL pesa algo como 450 kg, o mesmo volume de hidrogênio pesa apenas 70 kg. No entanto, nos modais logísticos atuais, a densidade gravimétrica – quantidade de energia por massa – se torna menos relevante do que a densidade volumétrica – quantidade de energia por volume. Esse metro cúbico de hidrogênio carrega apenas 40% da energia que o mesmo volume de GNL. Isso significa que para transportar a mesma quantidade de energia em um navio são necessárias 2,5 vezes mais viagens, já que existem gargalos físicos que não permitem simplesmente aumentar as embarcações, como os canais artificiais e os estreitos naturais. Além disso, o hidrogênio se torna líquido a -253°C (20 kelvin⁴²), contra -161°C (111 kelvin) do metano. A energia necessária para reduzir a temperatura cresce de forma exponencial quando nos aproximamos do zero kelvin, o que, em termos práticos, se traduz em uma menor eficiência energética no processo de liquefação. 100 kWh de hidrogênio gasoso se tornam apenas 60-70 kWh de hidrogênio líquido. A segunda lei da termodinâmica não perdoa. Além disso, manter temperaturas em tal grau no transporte não é atividade trivial. Longe disso. O acesso de calor indesejado e o raio diminuto da molécula⁴³ leva a altos índices de *boiloff*, deixando o hidrogênio escapar para a atmosfera⁴⁴. Hidrogênio esse que por sinal funciona como um gás de efeito estufa⁴⁵ com um potencial de aquecimento global (GWP-100) 11 vezes pior do que o CO₂.

Para evitar as inescapáveis dificuldades de lidar com o hidrogênio na sua forma líquida, discute-se a utilização de amônia como *carrier*. O problema nesse tipo de solução, no entanto, é mais uma vez a eficiência do processo do início ao fim. O processo de Haber-Bosch⁴⁶ consome entre 7-10 GJ para cada tonelada de amônia por conta das altas pressões e temperatura necessárias para combinar o hidrogênio e o nitrogênio, sem contar a energia necessária para a produção do nitrogênio, que adicionaria algo como 1 GJ a essa equação. Se o seu produto final é a própria amônia então tudo certo, *cost of doing business*. Mas se seu objetivo é reconverter a amônia em hidrogênio para depois gerar eletricidade limpa, é melhor abandonar qualquer expectativa de competitividade industrial no país de destino. A energia remanescente depois de gerar eletricidade renovável, produzir hidrogênio, produzir amônia, transportar amônia, separar o hidrogênio e queimar para gerar eletricidade no destino é pouco menos de 20% da energia original. Isso significa que o país destino tem um custo de eletricidade pelo menos 5x maior do que o país produtor.

Nos resta então a possibilidade de consumir o hidrogênio verde no local onde ele é produzido. A eficiência máxima teórica do processo de eletrólise consome 40 kWh para cada kg de hidrogênio. Com uma eficiência

⁴² A utilização da escala Kelvin é fundamental pois reflete de forma precisa as diferenças absolutas de temperatura.

⁴³ O raio de uma molécula de H₂ é 3x menor do que de uma molécula de CH₄

⁴⁴ À medida que o calor é transferido para o hidrogênio líquido, parte dele se transforma em gás por vaporização. Esse gás precisa ser liberado ou recapturado para evitar aumento de pressão no tanque.

⁴⁵ Tecnicamente a molécula de H₂ não é um gás de efeito estufa já que sua configuração diatômica (H-H) não absorve radiação infravermelha. Mas conforme essas ligações se quebram o H₂ aumenta o potencial de aquecimento de outras moléculas

⁴⁶ Produção de Amônia (NH₃) a partir de nitrogênio e hidrogênio ($\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$)

de 73%⁴⁷ e adquirindo eletricidade a R\$220/MWh, cada kg de hidrogênio tem um custo associado de \$2,10, além de mais \$1,20 referentes ao custo da transmissão⁴⁸. A molécula de H₂ tem portanto um custo operacional associado de ao menos \$3,30/kg, o que equivale a um custo de gás natural de \$29/MMBTU, um nível de preço só visto por breves momentos durante o desespero europeu após a restrição de oferta da Rússia no contexto da invasão da Ucrânia. O gás natural no Henry Hub em Louisiana, EUA, custa 10 vezes menos. O custo implícito do carbono evitado - supondo emissão zero no ciclo de vida do hidrogênio - fica na casa dos 500 dólares por tonelada. Preço que deixaria um barril de petróleo quatro vezes mais caro. E esse exercício considera apenas o custo operacional da eletricidade adquirida, ignorando o *capex* do eletrolisador, assim como todo o capital necessário para instalá-lo e operá-lo. Difícil encontrar apetite para equilibrar essa matemática.

O Brasil, com seus recursos naturais abundantes, não ficou imune às promessas do hidrogênio. Já são mais de 30 bilhões de dólares em projetos anunciados, deixando grandes empresas do setor elétrico confiantes para afirmar que o “H₂ de baixo carbono será o principal vetor de crescimento da demanda elétrica no Brasil”. A classe política está ávida por fazer sua parte nesta corrida e, com medo de perder competitividade quando comparado aos outros produtores potenciais, desenhou programas de incentivo e subsídios para impulsionar a indústria. Só no Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) são mais de R\$18 bilhões em créditos fiscais a serem concedidos entre 2028 e 2032.

“THERE IS ONLY ONE BOSS. THE CUSTOMER. AND HE CAN FIRE EVERYBODY IN THE COMPANY FROM THE CHAIRMAN ON DOWN, SIMPLY BY SPENDING HIS MONEY SOMEWHERE ELSE”⁴⁹

No fim das contas, o que vai definir se seremos capazes de atrair nova demanda por energia e, portanto, investimentos adicionais para o país, é o preço. Mais especificamente, o preço relativo do Brasil em comparação com soluções energéticas alternativas mundo afora. A pergunta mais importante é quanto custa essa energia renovável abundante no Brasil.

O custo da energia renovável nova⁵⁰, seja solar ou eólica, é determinado por quatro fatores: *capex*, custo de capital, fator de capacidade e subsídios/incentivos públicos. Por conta das decisões de investimento da China, discutidas no bloco anterior, o *capex* atingiu níveis competitivos⁵¹ e até surpreendentes. Mas isso não nos diferencia do resto do mundo⁵². O Brasil recebe papel de destaque em estudos de consultorias renomadas por

⁴⁷ Eficiência média dos eletrolisadores no mercado hoje

⁴⁸ O custo de R\$220/MWh utilizado nesse exercício é para energia consumida no grid. Um projeto com energia renovável não intermitente não pagaria o custo da transmissão mas teria de adicionar baterias ou rodar ocioso

⁴⁹ Sam Walton

⁵⁰ Mesmo a energia existente deveria ter seu preço convergindo para o custo marginal de expansão em períodos longos, por isso concentramos a discussão em torno da energia nova

⁵¹ Com a exceção notável das eólicas offshore. A depender da tecnologia de sustentação, essa fonte demanda preços entre 4 e 8 vezes mais altos do que a energia solar para se viabilizar. Prêmio suficiente para receber não mais que um footnote nessa carta.

⁵² Com exceção dos EUA que cobram tarifas dos produtos importados chineses

contar com um fator de capacidade excepcional. Essa é, no entanto, apenas parte da equação. Partindo de um custo de capital desproporcionalmente oneroso, a energia produzida em excesso por nosso invejável fator de capacidade, acaba servindo de alimento para o capital alocado em níveis condizentes com o risco de longo prazo no país. Não é vetor suficiente para reduzir o preço da energia.

No lado dos subsídios e incentivos não temos como competir, já que nossa conta de luz já está repleta de penduricalhos e nosso orçamento federal completamente asfixiado. A situação que se impõe ao país é curiosa: o melhor subsídio que o governo poderia dar para incentivar projetos intensivos em capital não seria por meio de mais gasto público, e sim por menos. Uma trajetória crível de redução de gastos que permita ao país alcançar um juro de equilíbrio mais baixo⁵³ - uma contração fiscal expansionista.

Muitas das avenidas potenciais nessa jornada da transição energética dependem de um maior investimento na largada que é compensado por um menor custo marginal de operação. Mais *capex* com menos *opex*. É o caso da geração de energia renovável, por exemplo. Outras rotas dependem de uma energia barata como insumo para processos menos eficientes, como é o caso da eletrólise para produção de hidrogênio. Más notícias para a narrativa do Brasil potência verde. Um país com um custo de capital alto acreditando que vai ser salvo por investimentos que dependem de um custo de capital baixo para se materializar.

“THE GREAT ENEMY OF THE TRUTH IS VERY OFTEN NOT THE LIE—DELIBERATE, CONTRIVED AND DISHONEST—BUT THE MYTH—PERSISTENT, PERSUASIVE AND UNREALISTIC”⁵⁴

Concentramos a discussão em dois expoentes da transição energética que, embora conectados, apresentam comportamentos distintos. O risco se materializa ao manipular as conquistas de um para projetar o sucesso do outro. A realidade física do hidrogênio é inescapável. Mesmo que um expressivo ganho de produtividade industrial reduza o custo de fabricação dos eletrolisadores, a viabilidade comercial do hidrogênio verde a nível da fábrica vai depender de uma redução expressiva no preço da eletricidade⁵⁵, o que naturalmente transformaria a própria eletricidade em um competidor feroz nos mercados disputados pelo hidrogênio. A cobra mordendo a própria cauda. O plano de exportar a molécula para consumo em geografias distantes sem acesso à eletricidade limpa e barata, esbarra na “insustentável leveza”⁵⁶ da molécula. Transportá-la pelo mundo é fisicamente possível, mas comercialmente inviável. Alguma espécie de política estatal com mandatos e orçamentos específicos, pode até ser suficiente para cobrir a diferença de custo a fim de incentivar esse mercado, mas carece de viabilidade consistente no tempo. Que incentivo tem a Alemanha, por exemplo, para comprar um produto verde brasileiro com preço superior às alternativas e sem contrapartida geopolítica? Como esse tipo de decisão alocativa aprimoraria a vida do alemão médio ou de sua

⁵³ *Importante ressaltar para os saudosos da gestão Tombini (se é que eles existem) que o juro relevante é o juro longo, marretadas voluntariosas na Selic não servem qualquer propósito prático e são contraproducentes na medida em que apenas inclinam a curva*

⁵⁴ John F. Kennedy

⁵⁵ *Importante lembrar que os painéis representam hoje parte pequena do custo. Mesmo que seus preços sejam reduzidos em mais 50% a partir do ponto atual, o capex total cairá apenas algo como 10-15%*

⁵⁶ *Referência a artigo [The Unbearable Lightness of Hydrogen](#) de Michael Liebreich, fundador da Bloomberg New Energy Finance*

indústria eletrointensiva? Se essa pergunta não for capaz de produzir uma resposta direta e de fácil compreensão, podemos ter confiança de que essa política sobreviverá aos ciclos eleitorais vindouros? Formulações sobre transição energética que negligenciam a ligação entre perenidade e soberania correm o risco de se descobrirem meras aspirações disfarçadas de projeções.

Essas reflexões devem constar da pauta prioritária de qualquer planejamento, captando nossas necessidades energéticas e as alternativas para supri-las. Observando as circunstâncias e nuances de um sistema global já organizado em determinadas premissas, ao invés de jogar-se romanticamente em utopias fantasiosas. Embora o óleo e o gás sejam os vilões momentâneos, nossa dependência intrínseca é mais límpida que o sol que alimenta nossas placas fotovoltaicas. E no horizonte já avistamos um declínio na nossa produção a partir de 2030, sem compensação equivalente na demanda. O *status quo* nos levaria portanto a uma dependência de importações para satisfazer nosso consumo, afetando nossa conta corrente e nos expondo a riscos de suprimento em ciclos de desequilíbrio global. Menos energia, menos soberania e menos resiliência. É no bojo dessa discussão que ocorrem os debates sobre exploração de óleo na margem equatorial, aposta exploratória que ganhou notoriedade após as expressivas descobertas na Guiana, e as discussões, ainda que tímidas, sobre exploração não convencional com fraturamento hidráulico. Atores corretamente preocupados com a necessidade global de descarbonização se posicionam contra a exploração desses recursos. Vislumbram a solução do problema pela restrição de oferta. No outro lado da equação, no entanto, a demanda se revela resiliente e inelástica, de forma que limitações de oferta promovem apenas aumentos expressivos de preço. Alternativas verdes antes pouco competitivas passam a se destacar em cenário de preços de petróleo mais alto, fazendo desse caminho uma rota possível, pelo menos em teoria, para a redução de emissões. A falha analítica nessa formulação manifesta-se pelos efeitos de segunda ordem, a partir das consequências negativas que preços mais altos produzem em nossos sistemas de organização social, vide o movimento dos coletes amarelos na França ou a reação política norte-americana ao movimento ESG.

A história da nossa civilização é umbilicalmente ligada à história da energia. O desenvolvimento chega para quem a consome e o poder flui para quem a produz. A arquitetura geopolítica, assim como a distribuição da riqueza global, respeita todas essas dimensões.

A última carta dessa trilogia é como traduzimos essa visão de mundo para decisões práticas de investimento.