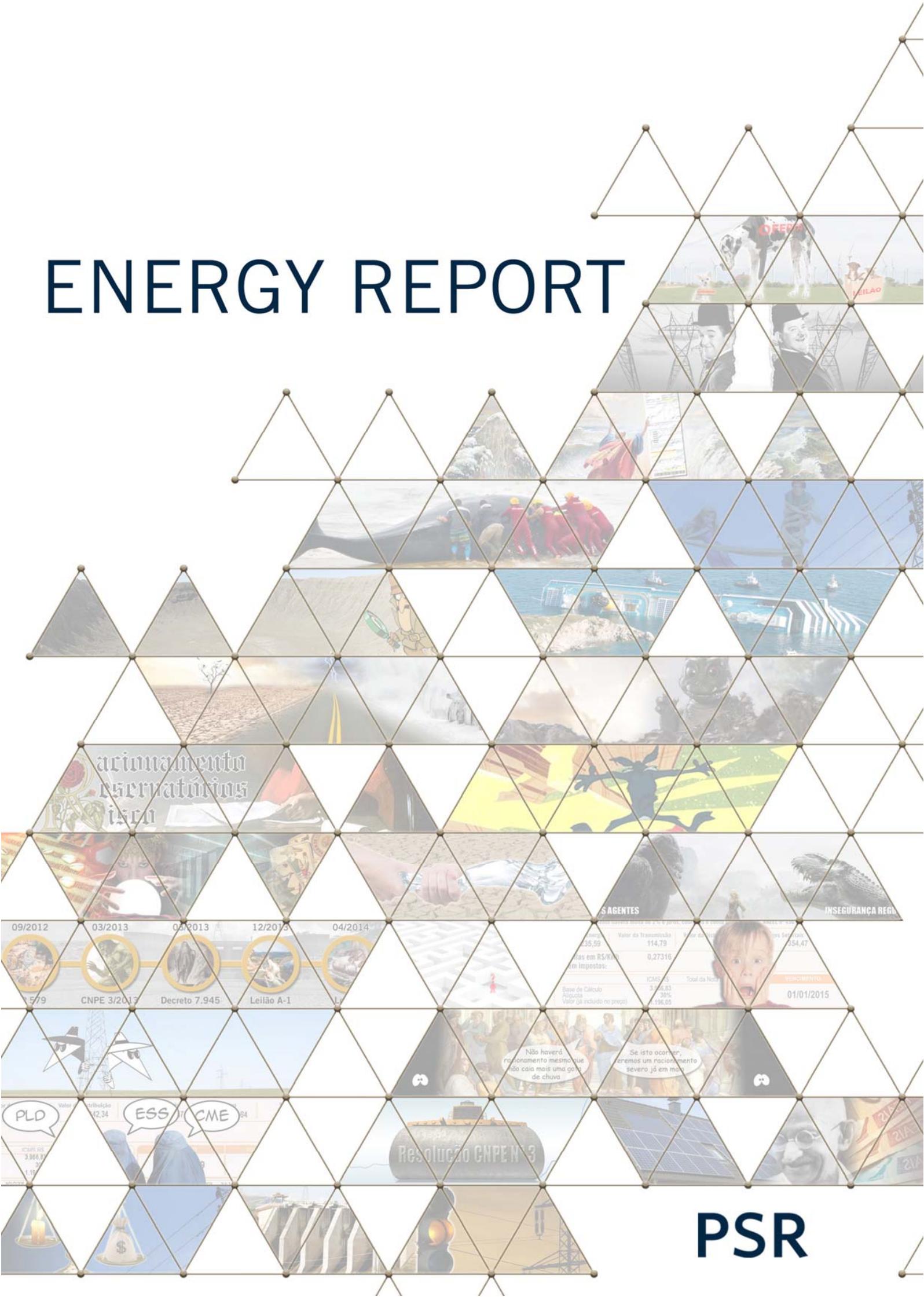


# ENERGY REPORT



acumulação  
reservatórios  
isca

09/2012	03/2013	05/2013	12/2013	04/2014
579	CNPE 3/2013	Decreto 7.945	Leilão A-1	

<b>AGENTES</b>		<b>INSEGURANÇA REG.</b>	
Valor da Transmissão	114,79	Valor do Seguro	254,47
Valor em R\$/Km	0,27316		
em impostos:			
Base de Cálculo	3.965,83	Total da Nota	
Alíquota	30%	VENCIMENTO	01/01/2015
Valor (já incluído no preço)	119,05		

Não haverá racionamento mesmo que não caia mais uma gota de chuva

Se isto ocorrer, teremos um racionamento severo já em maio

Resolução CNPE N° 3

**PSR**

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>A SAGA DA AVERSÃO AO RISCO, EPISÓDIO V</b>	<b>5</b>
<b>LEILÕES COM 12 GW DE FOLGA DE GERAÇÃO: LÓGICO OU CHOSE DE LOC?</b>	<b>7</b>
<b>LASTRO E CONTRATO DE ENERGIA: SEPARANDO PRODUTOS INSEPARÁVEIS...</b>	<b>9</b>
<b>PORTABILIDADE DA CONTA DE LUZ: RUMO À TERRA PROMETIDA?</b>	<b>12</b>
<b>DESENROLANDO O MODELO DO SETOR ELÉTRICO: A QUESTÃO DA TRANSMISSÃO</b>	<b>15</b>
<b>DESENCALHANDO O MODELO DO SETOR ELÉTRICO: USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA</b>	<b>16</b>
<b>DESVIRANDO A CANOA DO SETOR ELÉTRICO, PARTE 1: CAPACIDADE E SEGURANÇA</b>	<b>18</b>
<b>O MISTÉRIO DO DESAPARECIMENTO DOS RESERVATÓRIOS DAS HIDRELÉTRICAS</b>	<b>20</b>
<b>EL NIÑO “GODZILLA” E O SETOR ELÉTRICO: WINTER IS NOT COMING?</b>	<b>23</b>
<b>MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O FUTURO CHEGOU?</b>	<b>27</b>
<b>TARIFAÇÃO DE ENERGIA: AINDA NÃO CHEGAMOS AO FUNDO DO POÇO...</b>	<b>30</b>
<b>O NOME DA ROSA (E DE OUTRAS COISAS COMEÇANDO COM R...)</b>	<b>32</b>
<b>MEXER NO PREÇO: SE CORRER O BICHO PEGA, SE FICAR O BICHO COME</b>	<b>35</b>
<b>AS ÁGUAS VÃO (EN)ROLAR?</b>	<b>37</b>
<b>O QUE É MAIS DIFÍCIL: PREVER VAZÕES OU “AQUELE” JOGO DO BRASIL?</b>	<b>38</b>
<b>NOEL ROSA E A CONTA DO SETOR ELÉTRICO EM 2014 E 2015</b>	<b>43</b>
<b>ENASE 2014: O SETOR ELÉTRICO EM SEU LABIRINTO</b>	<b>45</b>
<b>SETOR ELÉTRICO PÓS-VERÃO: A ODISSEIA CONTINUA?</b>	<b>46</b>
<b>ARISTÓTELES E A CONTROVÉRSIA SOBRE RISCO DE RACIONAMENTO</b>	<b>48</b>

<b><u>O IMBRÓGLIO DA NATIONAL SECURITY AGENCY: ALERTAS PARA O SETOR ELÉTRICO</u></b>	<b>50</b>
<b><u>MAHATMA GANDHI, A MICROGERAÇÃO E O CONFAZ</u></b>	<b>64</b>
<b><u>RESOLUÇÃO CNPE Nº 3: O PREÇO E A PRESSÃO</u></b>	<b>67</b>
<b><u>O PREÇO DA ENERGIA, ESTE DESCONHECIDO</u></b>	<b>69</b>
<b><u>SEGURANÇA DE SUPRIMENTO: O ESTRUTURAL E O CONJUNTURAL</u></b>	<b>72</b>
<b><u>O SUSTO, O BENEFÍCIO E O CUSTO</u></b>	<b>73</b>
<b><u>SOBRE O ENERGY REPORT PSR</u></b>	<b>74</b>

## INTRODUÇÃO

A primeira edição do ER, em dezembro de 2006, tratou dos problemas de suprimento de gás da Bolívia, Argentina e Brasil que reduziram em 16% a capacidade firme de suprimento do sistema e levaram ao “susto” de janeiro de 2008, quando o risco de déficit excedeu 30%. De lá para cá, o ER analisou vários avanços, por exemplo leilões, alguns retrocessos, e outros “sustos”.

Na última edição, o Energy Report comemorou 10 anos! Para comemorar nosso aniversário, decidimos montar esse livrinho com as estorinhas dos editoriais, que sempre buscam juntar a realidade do setor elétrico com alguma anedota ou curiosidade.

Muito obrigado a nossos leitores, esperamos continuar merecedores de seu interesse e confiança no agora “pré-adolescente” ER.

# SAR WARS

Eu sou mais fácil de calibrar!

Eu sou *time consistent*!

## A SAGA DA AVERSÃO AO RISCO, EPISÓDIO V

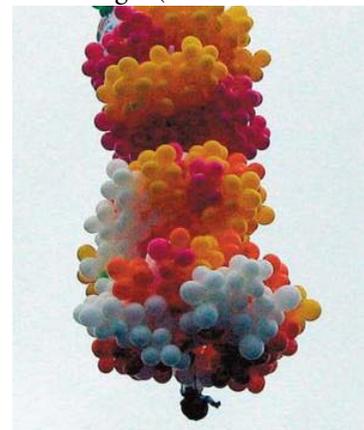
Uma cena icônica de qualquer documentário estilo *Discovery Channel* é a do guepardo caçando um antílope. Dado que o guepardo é, disparado, o animal mais veloz do planeta, seria natural imaginar que seu único trabalho é escolher qual dos bichos vai virar jantar. Na realidade, a caçada do guepardo é um exemplo de *análise benefício/custo* bastante sofisticada. A razão é que a velocidade do guepardo tem um custo significativo, já que ela depende de uma reserva energética que é muito pequena; é como um carro de corrida projetado com um tanque de gasolina mínimo para reduzir o peso. Como consequência, ou bem o guepardo pega o antílope em poucos minutos, ou tem que parar por falta de fôlego. O problema de decisão fica mais dramático porque, a cada falha, a reserva de energia para correr de novo diminui, a probabilidade de falha aumenta, e o guepardo pode literalmente morrer de fome ou exaustão.



Como consequência, a seleção natural “calibrou” o guepardo para só dar o bote se estiver perto o suficiente do antílope para ter uma alta probabilidade de ganhar. No entanto, a mesma seleção natural também fez o antílope saber direitinho qual é esta distância crítica do guepardo, e se movimentar para estar sempre fora do alcance. Como consequência, o guepardo incorpora um segundo parâmetro na sua análise benefício/custo, que é uma *estimativa da velocidade* do antílope. Isto, por sua vez, leva a um problema de benefício/custo para o antílope: como convencer o guepardo que ele é o Usain Bolt do rebanho sem passar pelo estresse (e gasto energético brutal) de ser perseguido? A resposta é muito interessante: o antílope  *sinaliza* que é bom de corrida saltando repetidamente no ar, um comportamento com o sonoro nome de *pronking*.



Em termos de teoria de decisão, o antílope faz um investimento *preventivo* de energia (os saltos não são de graça) para reduzir o *risco* de ter que gastar muito mais energia fugindo do guepardo. É interessante observar que esta sinalização preventiva também interessa ao guepardo pois, como visto, ele não pode se dar ao luxo de gastar energia à toa. Dado que todos os organismos têm os mesmos imperativos básicos de comer e se reproduzir, contrabalançados pelo requisito ainda mais premente de evitar ser comido, não é uma surpresa constatar que não só a interação guepardo-antílope, mas praticamente toda a teia de interações entre organismos, pode ser modelada como um problema de jogos não cooperativos *com aversão ao risco*<sup>1</sup>.



<sup>1</sup> Ver, por exemplo, [https://en.wikipedia.org/wiki/John\\_Maynard\\_Smith](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Maynard_Smith).

Uma exceção notável a este modelo de jogos é o ser humano, que com uma frequência desconcertante é *atraído* pelo risco, por exemplo correndo de touros em Pamplona ou provocando uma avalanche para esquiador na frente. O prêmio satírico *Darwin Awards*<sup>2</sup> foi instituído há vários anos para “reconhecer” os exemplos mais extremos deste comportamento (gente que morreu por causa da maluquice), e “agradecer” o fato de o premiado se excluir do “pool” genético. O Brasil, inclusive, ganhou o prêmio Darwin de 2008 com o sacerdote que se amarrou a um monte de balões e foi parar no oceano.

---

<sup>2</sup> <http://www.darwinawards.com/>



## LEILÕES COM 12 GW DE FOLGA DE GERAÇÃO: LÓGICO OU CHOSE DE LOC?

Em uma das cenas mais tocantes do filme *O Quarto de Jack*, a mãe tenta explicar ao filho de cinco anos, que nasceu e nunca saiu do quartinho em que estão aprisionados, por que o personagem de desenho animado da TV não é real, mas o apresentador do noticiário é. Esta separação entre real e imaginário é um fator essencial no desenvolvimento dos seres humanos. Por exemplo, um bebê de poucas semanas já sabe distinguir entre objetos inanimados e seres vivos. Com poucos anos, a criança percebe que seus pensamentos são separados (e ocultos) dos demais e começa a exercitar sua “teoria da mente” (no jargão científico) com brincadeiras de faz-de-conta, cuja melhor tradução são os versos de *João e Maria*, de Chico Buarque e Sivuca: *Agora eu era herói, e meu cavalo só falava inglês...*



Algumas crianças mais introvertidas ampliam o faz-de-conta criando amigos imaginários com que conversam e brincam. À medida que a criança amadurece, ela deixa gradualmente de acreditar neles. O desenho animado *Mansão Foster para amigos imaginários* (ao lado) descreve de maneira poética a vida destes seres depois de abandonados pelas crianças.



Como visto na edição anterior do ER, a ciência é um processo que usa nossa inteligência coletiva para ajudar a separar o imaginário do real, apesar de nossas limitações e falhas individuais. Embora o êxito deste processo científico tenha sido espetacular, alguns sociólogos e filósofos pós-modernos como Jacques Derrida e Gilles Deleuze argumentaram na década de 1990 que a ciência não era nada especial, apenas uma crença cultural, igualzinha às lendas de outros povos<sup>3</sup>.

Embora Derrida e seus amigos não tenham (felizmente) convencido a Nasa a guiar suas naves até Marte ou Plutão com um *Waze-da-serpente-alada-que-pôs-um-ovo-cósmico* ao invés das leis de Newton, a crítica anti-ciência teve ressonância nos meios acadêmicos e deu origem à chamada “Guerra das Ciências”. O ponto alto (ou baixo) desta guerra foi um artigo do físico Alan Sokal<sup>4</sup>, publicado em 1996 na revista pós-moderna *Social Text*. O título do artigo, *Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity* parece incompreensível, pela simples razão que, de fato, não faz sentido: Sokal escreveu um programa computacional chamado *Gerador Pós-Moderno*<sup>5</sup> que sorteava e fundia aleatoriamente expressões abstrusas pós-modernas e de mecânica quântica, tanto para o título como para o corpo do artigo. Posteriormente, Sokal colocou mais sal na ferida com o livro *Fashionable Nonsense*, onde conta estas maluqueiras e desanca ainda mais os pós-modernos.

<sup>3</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Science\\_wars](https://en.wikipedia.org/wiki/Science_wars)

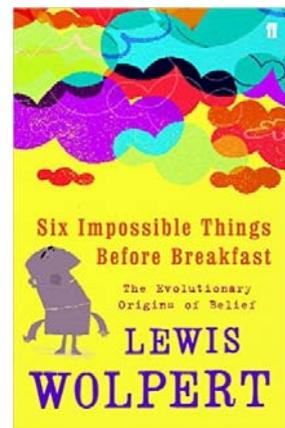
<sup>4</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Sokal\\_affair](https://en.wikipedia.org/wiki/Sokal_affair)

<sup>5</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Postmodernism\\_Generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Postmodernism_Generator)

É interessante observar que mesmo os doidões pós-modernos pouparam a matemática e a lógica de suas diatribes anti-ciência, possivelmente porque sabiam que até os tuaregues e ianomâmis somam 2 e 2 e obtém 4. De fato, a matemática é essencialmente não cultural, geográfica ou temporal: um teorema demonstrado permanece verdadeiro para qualquer sociedade, lugar e para sempre. Uma exceção notável à universalidade da matemática ocorreu no estado norte-americano de Indiana, que no final do século 19 passou uma lei mudando o valor da constante pi ( $\pi$ ) de 3,14159... para exatamente 3,2.<sup>6</sup>

Além disto, o resultado de uma demonstração matemática é absoluto: ou bem o teorema é verdadeiro, ou não é. A razão para este rigor é que basta uma única contradição, isto é, duas afirmações opostas serem verdadeiras, para desabar todo o edifício matemático; a razão é que neste caso *todos* os teoremas possíveis e imagináveis seriam verdadeiros, isto é,  $2+2=4$ , ou  $-25$ , ou a raiz quadrada de quinta feira.

A percepção de que contradições, ou coisas impossíveis, são muito perigosas, motivou muitos matemáticos com talento literário a brincar com estes conceitos. Um exemplo bem conhecido está no trecho da Rainha Vermelha em *Alice no País das Maravilhas* (o autor, Lewis Carroll, tinha formação em lógica). Quando a Rainha Vermelha conta um monte de absurdos para Alice, ela reage dizendo: “Eu não posso acreditar nisto!”. “Por que não?” pergunta a rainha, “Tente novamente; respire fundo e feche os olhos.” Alice responde: “Não adianta, não se pode acreditar em coisas impossíveis”. A resposta da rainha é fulminante: “Acho que você não teve muita prática. Quando eu tinha sua idade, todo dia treinava em acreditar por meia hora. Algumas vezes eu acreditava em até seis coisas impossíveis antes do café da manhã”. Esta última frase virou um *meme* muito divulgado, como ilustra o livro ao lado.



<sup>6</sup> <http://mentalfloss.com/article/30214/new-math-time-indiana-tried-change-pi-32>



## LASTRO E CONTRATO DE ENERGIA: SEPARANDO PRODUTOS INSEPARÁVEIS...

Uma das características mais marcantes do ser humano é um sentimento de autoestima absolutamente incompatível com a realidade. E a história da ciência pode ser vista como um processo contínuo de “murchar” nosso ego.

O primeiro passo deste choque de realidade foi dado no século 17, quando Kepler mostrou que a Terra, ao invés de centro do universo, era apenas um planeta girando em torno de uma estrela igual a milhares de outras que se viam no céu. Como mencionado na edição anterior do ER, os sucessores de Kepler aumentaram nossa humilhação em várias ordens de grandeza, ao mostrar que havia não milhares, mas bilhões de estrelas em nossa galáxia; e, posteriormente, que a Via Láctea era apenas uma de centenas de bilhões de galáxias.

Os humanos tentaram se consolar deste rebaixamento do CEP cósmico argumentando que, pelo menos, éramos organismos perfeitos, projetados por uma inteligência superior. Aí Darwin estragou a festa, mostrando que um processo de baixa complexidade (o binômio variação aleatória / seleção natural) conseguia criar organismos muito complexos (*endless forms most beautiful*, na incomparável frase final do livro *A Origem das Espécies*) sem a necessidade de um projetista<sup>7</sup>. Posteriormente, Watson & Crick mostraram que todos os seres vivos compartilhavam o mesmo DNA, e que éramos primos próximos não só dos chimpanzés (99% de genes coincidentes) como da alface (70%).

Nossa última linha de defesa foi tentar dar um golpe de judô nestes cientistas estraga prazer, argumentando que pelo menos nosso *cérebro* é inigualável, pois foi este quilo e meio de geleia que nos permitiu compreender o universo, com pouco mais do que símbolos matemáticos e instrumentos feitos basicamente de areia, desde lentes (vidro) até circuitos integrados (silício). A turma que endeusa nossas façanhas mentais tem até um contraponto à elegância estilística de Darwin, que é o genial poeta e gravurista William Blake: *To see a World in a Grain of Sand / And a Heaven in a Wild Flower / Hold Infinity in the palm of your hand / And Eternity in an hour.*

Infelizmente, nossa alegria “cerebrocêntrica” durou pouco. A combinação de instrumentos mais sofisticados com testes neurológicos<sup>8</sup> e psicológicos<sup>9</sup> muito bem bolados mostrou que nosso cérebro estava muito longe de ser um supercomputador “mais complexo do que o universo”; a triste realidade é que nossa mente é um amontoado de “lajes” e “puxadinhos” neurológicos tão confusos que é quase um milagre que o ser humano tenha sobrevivido.

<sup>7</sup> Ver, por exemplo, o livro *Darwin's Dangerous Idea*, de Dan Dennet.

<sup>8</sup> Para quem tiver interesse neste tema, os livros *The Tale of the Dueling Neurosurgeons: And Other True Stories of Trauma, Madness, Affliction, and Recovery That Reveal the Surprising History of the Human Brain*, de Sam Kean; e *Incognito: The Secret Lives of the Brain*, de David Eagleman, são as referências mais interessantes e divertidas. O livro de Steven Pinker, *How the Mind Works*, também é de altíssimo nível.

<sup>9</sup> Ver, por exemplo, *Thinking Fast and Slow*, de Daniel Kahneman; e *Predictably Irrational: The Hidden Forces That Shape Our Decisions*, de Dan Ariely, para uma visão surpreendente – e deprimente – de nossa incompetência mental.

Uma das razões para o êxito da ciência é justamente ter conseguido driblar as deficiências de nossos cérebros individuais usando a *inteligência coletiva* dos cientistas. Os instrumentos do chamado “método científico” são: (i) ceticismo básico sobre qualquer afirmação (como mencionado em uma edição anterior do ER, o lema da Royal Society é *nullus in verbia*, não acredite na palavra de ninguém); e (ii) “verificação pelos pares” (*peer review*), em que outros especialistas tentam encontrar erros tanto nas derivações matemáticas como nos resultados das experiências<sup>10</sup>.

Infelizmente, as demais atividades da sociedade não têm os mesmos “seguros anti-burice” da ciência. Como consequência, comerciantes e marqueteiros fazem a festa, nos induzindo a consumir mais, e mais caro, do que preveem os modelos dos economistas, que são baseados na premissa de racionalidade estrita do consumidor, o famoso *homo economicus*. Um exemplo de limitação cerebral que os vendedores aproveitam é a chamada “fadiga de decisão”<sup>11</sup>: cada um de nós tem um “reservatório” de decisões inteligentes, que se renova a cada dia; quando somos forçados a tomar várias decisões rapidamente, o reservatório seca, nosso cérebro joga a toalha, e começamos a decidir no impulso. Esta é a razão dos supermercados colocarem aqueles docinhos e bugigangas caras, que dão um grande lucro, ao lado do caixa<sup>12</sup>.

Outra limitação cognitiva importante é a “sobrecarga de informação”: quando nos vemos diante de múltiplas opções, por exemplo, o montão de acessórios que podemos colocar em um carro, juntamente com alternativas de pagamento mais variadas, nossa capacidade de análise deteriora e, com frequência, tomamos decisões absurdas. (O filme *The Big Short* tem exemplos aterrorizante de como o pessoal de hipotecas destruiu as economias de milhões de pessoas nos Estados Unidos, na crise de 2008.) Outra ação, ou melhor inação, dos seres humanos diante da sobrecarga de informações, é simplesmente não fazer nada. Esta “paralisia de análise” (*analysis paralysis*)<sup>13</sup> pode ter consequências danosas para a sociedade. Um exemplo clássico, observado na Suécia e Noruega, é a opção de ser doador de órgãos na carteira de motorista: se o *default* for *não* ser doador, somente 20% das pessoas se dá ao trabalho de marcar a opção “doador”. Já se o *default* for “ser doador”, somente 10% das pessoas muda para “não quero doar”. É imediato ver que uma simples mudança na opção *default* da carteira pode salvar um imenso número de vidas. A constatação de que podemos dar um “empurrãozinho do bem” no processo de decisão das pessoas foi popularizada no livro *Nudge* de Richard Thaler e Cass Sunstein, o qual inspirou o governo inglês a criar uma “Secretaria do Empurrãozinho” (sério!).

Outra maneira eficaz de atenuar a sobrecarga de informação, e que - finalmente! - está relacionada com o tema deste ER, é “empacotar” (*bundle*) diversos produtos/serviços em uma única oferta. Um exemplo clássico são os “pacotes de viagem”, que incluem passagem aérea, transporte e hotel, e nossos populares

---

<sup>10</sup> Nesta altura, alguns leitores podem estar pensando: concordo que o método científico é útil para cientistas “zé mané” como você ou eu. No entanto, um Newton ou um Einstein certamente não precisam disto; será que pelo menos o cérebro deles não é especial? Para alívio dos mortais, a estorinha a seguir mostra que até mesmo gênios se beneficiam de um bom *peer review*, mesmo que a contragosto. O caso tem a ver com as “ondas gravitacionais”, cuja detecção recente teve muita atenção da mídia. Como os leitores devem lembrar, o noticiário destacou que estas ondas teriam sido previstas teoricamente por Einstein há setenta anos. No entanto, o artigo original do Einstein *afirmava o contrário*, que as ondas gravitacionais *não podiam existir* (!). O que ocorreu é que um dos revisores mostrou que a derivação matemática de Einstein estava errada, e inclusive sugeriu uma maneira de consertar. No entanto, a reação de Einstein não foi agradecer ao revisor e consertar o artigo; ele ficou muito ofendido pela ousadia do revisor, e escreveu uma carta malcriada para o editor da revista científica retirando o artigo para publicar em outra revista que respeitasse sua genialidade. Só que, quando ele se acalmou, percebeu que havia de fato um erro e, na maior cara de pau, mudou o título do artigo na nova revista (que já estava pronto para impressão) de “ondas gravitacionais não existem” para “ondas gravitacionais existem”, e pronto, ganhou a reputação de visionário ;-). A referência <http://scitation.aip.org/content/aip/magazine/physicstoday/article/58/9/10.1063/1.2117822#c3> conta mais detalhes desta estória, inclusive a razão de terem decidido revelar o nome do revisor, que em geral é confidencial.

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Decision\\_fatigue](https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_fatigue)

<sup>12</sup> Departamento de cultura inútil: os mega nerds da informática, como o Zuckerberg do Facebook, dizem que usam sempre a mesma roupa para não “gastar” o estoque de decisões escolhendo um vestuário.

<sup>13</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Analysis\\_paralysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Analysis_paralysis)

restaurantes a quilo. Embora, em teoria, contratar cada serviço separadamente seja mais barato, é importante considerar que o custo cognitivo desta contratação separada pode ser alto.



## PORTABILIDADE DA CONTA DE LUZ: RUMO À TERRA PROMETIDA?

Em meados deste janeiro, astrônomos do mundo inteiro observaram que uma única estrela, ao explodir, liberou *600 bilhões de vezes* mais energia do que nosso sol, um recorde para este tipo de evento<sup>14</sup>: a maior parte destas estrelas “explosivas”, conhecidas como supernovas, produz a energia de “apenas” 100 bilhões de sóis, o que corresponde à soma de todas as estrelas da Via Láctea.

De acordo com os astrônomos, esta supernova recorde está a *3,8 bilhões de anos-luz* da Terra. Quando a gente lembra que, em *um segundo*, a luz dá sete voltas e meio em torno do planeta, percebe que estamos falando de distâncias difíceis de conceber. Por exemplo, a luz vai daqui para o Sol em 8 minutos; para Plutão, em 5 horas; e para a estrela mais próxima, Alpha Centauri, em quatro anos. Depois de um tempinho para absorver estes números absurdos, surgem duas perguntas: (i) o que acontece se uma supernova explodir mais perto de nós? e (ii) como os astrônomos sabem que esta estrela está a 3,8 bilhões de anos luz? Ou, em geral, como eles medem estas distâncias tão grandes?

A resposta à primeira pergunta é: uma explosão de supernova a uns *dez mil* anos luz da Terra, que é longe à beça, será visível a olho nu como uma estrela bem brilhante; foi assim que a primeira supernova registrada na história foi detectada por astrônomos chineses, no ano 85 (por aparecer de repente, ela foi poeticamente chamada de “estrela convidada”)<sup>15</sup>. Já uma supernova que explodisse a uns mil anos luz apareceria como um sol gigante e possivelmente destruiria nosso planeta; o livro de astronomia ao lado descreve com uma boa dose de humor negro perigos para a humanidade que é até bom não saber<sup>16</sup>.



Vamos agora à segunda pergunta: como é possível medir distâncias tão absurdamente grandes? A resposta é um monumento à engenhosidade do ser humano<sup>17</sup>. De maneira extremamente resumida, a distância dos planetas e outros objetos da Via Láctea foram medidas por geometria no século 17(!) (falaremos um pouco mais deste tema adiante). Por sua vez, distâncias de até milhões de anos luz foram medidas a partir de 1910, usando o brilho aparente das estrelas (quanto mais distante, mais apagada a imagem nos telescópios<sup>18</sup>). Para distâncias ainda maiores (até bilhões de anos luz) já não se observam

<sup>14</sup> <http://www.scientificamerican.com/article/found-the-most-powerful-supernova-ever-seen/>

<sup>15</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/SN\\_185](https://en.wikipedia.org/wiki/SN_185). Alguns leitores podem estar se perguntando como os astrônomos sabem que a “estrela convidada” vista pelos chineses era uma supernova. Como o artigo explica, os resíduos da explosão subsistem até hoje e podem ser observados.

<sup>16</sup> Para os ansiosos preocupados com a possibilidade de sermos destruídos por uma supernova: a estrela deste tipo mais próxima é Betelgeuse, a 600 anos luz da Terra. Como os raios gama emitidos na explosão viajam à velocidade da luz, ela pode até ter explodido nos últimos 600 anos. Felizmente, a emissão de raios gama de uma supernova se concentra na direção dos polos da estrela, que no caso de Betelgeuse estão perpendiculares à Terra. Mas há outros candidatos...

<sup>17</sup> Ver, por exemplo, o livro *The Whole Shebang: A State-of-the-Universe(s) Report*, do astrônomo Timothy Ferris.

<sup>18</sup> O uso do brilho aparente é complexo pois uma estrela menos brilhante, e mais perto, tem a mesma aparência de outra mais brilhante, porém mais longe. O “pulo do gato” foi a descoberta, em 1908, de uma classe de estrelas, as Cepheides, cujo brilho real é conhecido e constante; como consequência, o brilho aparente tem uma relação direta com a distância.

estrelas, e sim galáxias inteiras. A partir de meados do século 20, usou-se o brilho aparente das explosões de supernovas nas galáxias como indicador de suas distâncias<sup>19</sup>.

Como os leitores do ER sabem, nossas divagações podem seguir caminhos tortuosos, mas sempre acabam no tema do editorial. Neste caso, o caminho passa pelas medidas de distância feitas no século 17. Em 1672, o astrônomo Cassini usou uma técnica chamada paralaxe para medir a distância da Terra a Marte. A paralaxe pode ser entendida esticando um braço e olhando o polegar com cada olho separadamente: como sabemos (ou acabamos de descobrir ao esticar o braço) a posição do polegar em relação a um objeto mais distante parece “pular” quando trocamos de olho. A técnica de paralaxe vem da observação de que a distância entre os olhos pode ser vista como base de um triângulo, e o ângulo entre cada olho e o objeto, como os lados do mesmo. Neste caso, a distância a um objeto pode ser calculada por geometria como o ponto em que os lados se encontram (ponta do triângulo).

É intuitivo que se a distância do objeto for muito maior do que a base do triângulo, como é o caso de Marte, os ângulos vão ficar a 90 graus, e não vai dar para medir nada. A grande “sacação” de Cassini foi medir estes ângulos usando como a base do triângulo cidades separadas por milhares de quilômetros, tais como Londres e Moscou. Os resultados de Cassini deixaram todos boquiabertos, pois ninguém remotamente imaginava que Marte estivesse tão longe, a 60 milhões de quilômetros<sup>20</sup>. Mas os cientistas, como todos nós, se adaptam rapidamente a novidades, e logo estavam querendo medidas mais precisas. Em 1716, o astrônomo Halley (o mesmo do cometa) sugeriu usar o chamado “trânsito de Vênus”, que ocorre quando aquele planeta passa na frente do sol (como se fosse um eclipse). Halley mostrou que a medida dos instantes exatos em que Vênus entra e sai da frente do sol, feita de pelo menos dois lugares diferentes na Terra, permitiria uma estimativa de paralaxe muito mais precisa da distância da Terra ao Sol<sup>21</sup>. A partir daí, seria possível atualizar as distâncias de todos os demais planetas. Infelizmente para Halley, o trânsito de Vênus só ocorre a cada 150 anos, em “pares” separados por oito anos. O próximo par seria 1761/1769, e ele morreu em 1742.

No entanto, a ideia de Halley incendiou a imaginação dos cientistas e levou à primeira grande colaboração internacional com fins científicos, com países como França, Inglaterra, Suécia, Rússia e muitas outras enviando expedições a mais de 60 lugares favoráveis para a observação, muitos dos quais entre os mais remotos, e inóspitos, do planeta<sup>22</sup>. As aventuras, ou melhor, desventuras, dos cientistas nestes lugares são uma mistura de comédia e filme de horror, e foram descritas em vários livros<sup>23</sup>. Uma das histórias mais divertidas, e que tem a ver com o tema deste ER, foi a expedição de 1761 ao Taiti.

Na época, o Taiti havia sido marcado nos mapas como “ilhas de São Jorge”, porém nunca havia sido visitado (a própria existência da Austrália era apenas um rumor...). Como se pode imaginar, a chegada

---

<sup>19</sup> As supernovas têm o mesmo problema de se distinguir entre eventos menos brilhantes & próximos de mais brilhantes & longe. De maneira análoga às Cepheides, descobriu-se que o brilho real de uma determinada classe de supernovas, IIa, é constante.

<sup>20</sup> Mais tarde, os astrônomos tiveram a ideia genial de usar uma única cidade, porém *em épocas diferentes do ano* (por exemplo, janeiro e julho). Como a Terra se move a 30 quilômetros por segundo (ou 108 mil quilômetros por hora), a base do triângulo passou a ser de centenas de milhões de quilômetros; como mencionado, isto permitiu medir distâncias até de estrelas.

<sup>21</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Transit\\_of\\_Venus](https://en.wikipedia.org/wiki/Transit_of_Venus). É interessante observar que tanto as Cepheides como as supernovas IIa e o trânsito de Vênus foram usados primeiro para medir distâncias e, posteriormente, para outros avanços espetaculares na astronomia moderna: (i) Cepheides: evidência da expansão do universo (“Big Bang”) em 1920; (ii) supernovas IIa: aceleração desta expansão, que deu origem à teoria de *dark energy*, talvez o tópico mais importante da física atual; e (iii) trânsito de Vênus: inspirou as modernas técnicas de identificar os “exoplanetas”, que circulam em torno de outras estrelas, e que tem tido muita atenção na mídia nos últimos anos (ver por exemplo o livro *Five Billion Years of Solitude: The Search for Life Among the Stars*).

<sup>22</sup> Em 1761 houve 62 postos diferentes de observação, incluindo Calcutá, Tobolsk, Sibéria, Cabo da Boa Esperança e Newfoundland. Em 1769, a Inglaterra e França estavam em guerra, mas mesmo assim deram salvo condutos aos cientistas.

<sup>23</sup> Ver, por exemplo, *The Day The World Discovered the Sun*, de Mark Anderson, que inclusive descreve a visita ao Taiti que mencionamos.

do navio despertou a curiosidade dos taitianos, que foram em massa checar o que os ingleses estavam fazendo. O capitão se assustou com a aglomeração, e ordenou que os marinheiros dessem uns tiros para o alto. O que ocorreu em seguida faz jus à expressão de tiro que saiu pela culatra: as balas disparadas, que na época eram esferinhas de ferro, viraram objeto de desejo das mulheres, pois não havia metais nas ilhas. E, rapidamente, as taitianas perceberam que tinham o que oferecer, em troca dos metais, para um bando de marinheiros solitários...

A primeira consequência deste escambo “saliência por metal” foi o roubo dos instrumentos científicos (que na época eram verdadeiras obras de arte de cobre, madeira e vidro) por parte dos marinheiros. O capitão e cientistas, a muito custo, conseguiram recuperar os instrumentos e os transportaram para uma casa mais longe, que seria o posto de observação do trânsito de Vênus.

Com isto, os marinheiros foram para o Plano B, que era arrancar disfarçadamente os pregos das tábuas do casco do navio<sup>24</sup>. Embora houvesse uma grande quantidade de pregos, o entusiasmo dos marinheiros criou uma “inflação de demanda” (cada vez mais pregos por unidade de saliência) e, em dias, o navio afundou, deixando toda a tripulação e passageiros encalhados por mais de um ano.

Moral da história: por mais atraentes que sejam os incentivos individuais, temos que pensar no efeito coletivo, sob pena de o barco afundar com todo mundo.

---

<sup>24</sup> Eles não tinham acesso às balas dos mosquetes, que como em qualquer navio ficavam trancadas e sob guarda.



## DESENROLANDO O MODELO DO SETOR ELÉTRICO: A QUESTÃO DA TRANSMISSÃO

Neste final de ano, alguns artigos sobre economia e setor elétrico se referiram a 2015 como *annus horribilis*. Mesmo os leitores que não seguem o “Twitter” em latim do Papa, *Pipilare*, entendem imediatamente o significado desta expressão. Curiosamente, a mesma não é de Cícero ou de outros autores clássicos que os redatores do ER gostam de citar;<sup>25</sup> ela foi usada em um desabafo da rainha Elizabeth da Inglaterra no fim de 1992, quando houve o “barraco” com a princesa Diana e um grande incêndio no palácio de Windsor, dentre outros incidentes.<sup>26</sup> Isto nos leva à segunda pergunta: por que a rainha desabafou em latim e não, por exemplo, com uma citação de Shakespeare? A resposta é que ela estava se referindo (em contraste) a um poema muito conhecido dos ingleses, *Annus Mirabilis*.

Um detalhe curioso deste poema é que o “ano milagroso” que ele celebra é 1666, quando Londres foi quase totalmente destruída por um incêndio<sup>27</sup> e, de quebra, a população foi dizimada pela peste negra<sup>28</sup>. Como é possível dizer que um ano destes foi uma maravilha?

<sup>25</sup> Já que estamos em tempos de transparência total, boa parte de nossa erudição é “powered by Wikipedia”.

<sup>26</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Annus\\_horribilis](https://en.wikipedia.org/wiki/Annus_horribilis). A frase completa da rainha é um ótimo exemplo do “understatement” inglês: *1992 is not a year on which I shall look back with undiluted pleasure. In the words of one of my more sympathetic correspondents, it has turned out to be an Annus Horribilis.*

<sup>27</sup> A Londres que conhecemos hoje resulta diretamente do “Great London Fire” de 1666. Dado que tudo tinha sido queimado, a cidade foi toda replanejada por Christopher Wren e Robert Hooke, dois gênios ingleses com atuação em várias áreas. Hooke, por exemplo, era o experimentalista mais importante da *Royal Academy*, e quem sugeriu a Newton que a atração gravitacional variava com o quadrado da distância.

<sup>28</sup> Para os leitores interessados em física, 1666 é o ano em que Newton fez avanços revolucionários no cálculo, mecânica, ótica e gravitação. A relação com a peste de Londres é direta: Newton se refugiou no campo, onde tinha mais tempo para pensar. Este ano só é comparável a 1905, quando Einstein publicou três artigos, cada qual merecedor de um prêmio Nobel separado. (Os temas dos artigos foram a teoria da relatividade restrita; o movimento browniano, que demonstrou a existência dos átomos; e o efeito fotoelétrico, que demonstrou a existência de fótons e deu credibilidade à mecânica quântica.)

## DESENCALHANDO O MODELO DO SETOR ELÉTRICO: USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

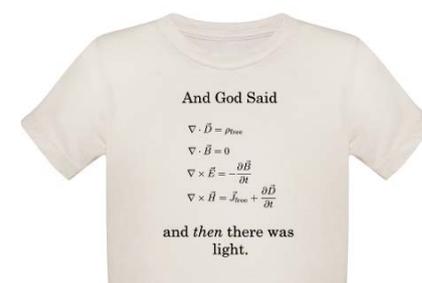
Como divulgado pela mídia, novembro de 2015 marca o centenário da publicação da Teoria da Relatividade Geral<sup>30</sup>, de Einstein, um trabalho monumental que unificou os conceitos de gravidade, espaço e tempo, e permitiu que o ser humano compreendesse melhor o universo (ao lado, o conjunto de equações da relatividade geral, em notação tensorial). Embora relatividade geral lembre imediatamente objetos de dimensão cósmica, como os buracos negros<sup>31</sup>, ela tem aplicações práticas insuspeitadas em nosso dia-a-dia, por exemplo nos cálculos dos aparelhos de GPS<sup>32</sup>.

Por uma feliz coincidência, 2015 também marca os 150 anos das equações de eletromagnetismo de Maxwell (também cabe em uma camiseta, como vemos ao lado). Dada a importância da luz elétrica, rádio, TV, computadores etc. em nossas vidas, é difícil acreditar que nossos avós conviveram com pessoas que nunca viram uma lâmpada.

A relatividade e o eletromagnetismo são apenas dois exemplos de como a ciência é parte integrante do mundo moderno. Outros exemplos recentes são a técnica CRISPR-Cas9, que permite editar o DNA de fetos, tanto para eliminar doenças congênitas graves como para dar uma “enfeitada” em seus atributos físicos e mentais<sup>33</sup>, e as discussões da COP21 sobre o aquecimento global, este mês em Paris<sup>34</sup>.

Dada esta presença da ciência na sociedade, é surpreendente constatar que o nome “cientista” só começou a ser usado no início do século 20 (o termo “ciência” já existia). Até então, os profissionais de física, química etc. eram conhecidos como “filósofos naturais”. Porém, o sucesso espetacular da ciência no século 19<sup>35</sup> motivou a busca por um novo nome que a diferenciasse da filosofia. O termo “cientista” foi proposto à Associação Britânica de Ciência em 1883. No entanto, a turma torceu o nariz, pois “cientista” rimava com profissões de baixa reputação, como “artista” e... “economista”<sup>36</sup>.

Estas escaramuças entre cientistas (e engenheiros) e economistas já foram comentadas em edições anteriores do ER. Em nossa opinião, parte desta implicância mútua se deve à arrogância dos cientistas. Um caso famoso é o comentário do genial físico neozelandês Ernest Rutherford, descobridor do núcleo do átomo: “a física é a única ciência verdadeira; todo o resto é coleção de selos”<sup>37,38</sup>. Por sua vez, os economistas às vezes também não ajudam. Por exemplo, o prêmio Nobel de Economia de 2013 foi dado



<sup>30</sup> <https://www.newscientist.com/round-up/instant-expert-general-relativity/>

<sup>31</sup> Para alegria dos *nerds*, o filme *Interstellar* mostrou pela primeira vez uma visualização espetacular, e cientificamente correta, de um buraco negro. Infelizmente, a alegria durou pouco: alguns minutos depois, a personagem da Anne Hathaway no filme afirma que é o amor, e não as equações de Einstein, que movem o universo...

<sup>32</sup> <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit5/gps.html>

<sup>33</sup> <http://www.technologyreview.com/news/543941/everything-you-need-to-know-about-crispr-gene-editings-monster-year/>

<sup>34</sup> [http://www.technologyreview.com/view/544131/paris-un-climate-conference-roundup/?utm\\_campaign=newsletters&utm\\_source=newletter-weekly-energy&utm\\_medium=email&utm\\_content=20151207](http://www.technologyreview.com/view/544131/paris-un-climate-conference-roundup/?utm_campaign=newsletters&utm_source=newletter-weekly-energy&utm_medium=email&utm_content=20151207)

<sup>35</sup> O avanço da ciência no século 19 foi tão espetacular (ver, por exemplo, <http://www.localhistories.org/victech.html>) que, em 1895, o professor de Max Planck disse que ele não devia estudar física, pois tudo já havia sido descoberto, e só faltava completar alguns detalhes insignificantes ([https://de.wikipedia.org/wiki/Philipp\\_von\\_Jolly#cite\\_note-5](https://de.wikipedia.org/wiki/Philipp_von_Jolly#cite_note-5)). Como sabemos, o professor perdeu uma ótima chance de ficar calado, pois nos anos seguintes surgiram, num ritmo estonteante, a relatividade restrita, a mecânica quântica (da qual Planck foi o pioneiro) e a relatividade geral.

<sup>36</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Scientist>

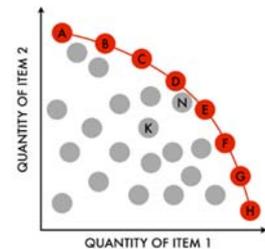
<sup>37</sup> [https://en.wikiquote.org/wiki/Ernest\\_Rutherford](https://en.wikiquote.org/wiki/Ernest_Rutherford)

<sup>38</sup> Outra gozação arrogante, e conhecida, dos cientistas, é dizer que é fácil separar ciência de verdade das imitações: a ciência verdadeira nunca tem “ciência” no nome, pois se chama física, química, biologia etc. Só as imitações colocam o adjetivo “ciência” em sua descrição: ciências humanas, ciências sociais, ciências contábeis, ciência da computação etc.

a dois economistas, Eugene Fama e Robert Shiller<sup>39</sup>, por suas contribuições sobre um mesmo tema, precificação de ativos. Só tem um pequeno detalhe: as teorias de ambos são completamente opostas e incompatíveis<sup>40</sup>.

Uma das poucas pessoas que escapou deste Fla-Flu entre cientistas, engenheiros e economistas foi o italiano Vilfredo Pareto. Na área de ciência, por exemplo, Pareto foi um dos primeiros a observar que a distribuição de rendas das pessoas seguia a chamada *power law*, a qual se transformou na base dos estudos de sistemas complexos adaptativos<sup>41</sup> que hoje modelam mercados de ações, clima etc.<sup>42</sup>.

Na economia, Pareto desenvolveu o conceito de *alocação eficiente de recursos*: de uma maneira simplificada, uma alocação é eficiente se uma melhora no estado de um agente (por exemplo, aumentar a renda de uma pessoa) resulta em piora no estado de algum outro<sup>43</sup>. Este conceito permite entender porque algumas alocações são indesejáveis. Na figura ao lado, por exemplo, todas as alocações em cinza (K, N e outras) são *inferiores* às alocações em vermelho (A-H) para todos os agentes e, portanto, nunca devem ser feitas. Já para as alocações A-H, conhecidas como *fronteira eficiente* ou *ótimos de Pareto*, sempre há agentes que perdem e que ganham com mudanças. A escolha da melhor alocação entre os ótimos de Pareto depende das preferências da sociedade, por exemplo, sobre distribuição de renda ou, como será visto a seguir, a prioridade relativa entre os múltiplos usos da água.



A eficiência de Pareto é a base dos *dois teoremas fundamentais* do livre mercado<sup>44</sup>. O primeiro teorema diz que mercados competitivos sempre convergem para um ótimo de Pareto (isto é, para uma das alocações em vermelho A-H). Por esta razão, o primeiro teorema é visto como a formulação matemática da “mão invisível do mercado” de Adam Smith. No entanto, como mencionado, o fato de um resultado ser eficiente não significa que ele seja socialmente desejável. O segundo teorema fundamental resolve este problema, pois demonstra que é possível para a sociedade selecionar qualquer um dos pontos A-H através de uma transferência inicial de recursos, seguida do funcionamento do livre mercado. Um exemplo desta estratégia são os chamados mercados de carbono, onde o governo aloca cotas iniciais para emissão de CO<sub>2</sub> entre os agentes, que depois são negociadas livremente.

O conceito de ótimos de Pareto teve também aplicações imediatas em engenharia, onde é muito frequente a necessidade de equilibrar múltiplos atributos, por exemplo, custo e confiabilidade, ou os já mencionados usos múltiplos da água, como geração de energia elétrica, irrigação, consumo humano e transporte hidroviário.

<sup>39</sup> Houve um terceiro ganhador, Lars Peter Hansen, mas que é discípulo do Fama.

<sup>40</sup> <http://www.theguardian.com/business/2013/dec/10/nobel-prize-economists-robert-shiller-eugene-fama>

<sup>41</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Santa\\_Fe\\_Institute](https://en.wikipedia.org/wiki/Santa_Fe_Institute)

<sup>42</sup> Ver, por exemplo, o livro *Critical Mass: How One Thing Leads to Another*, de Philip Ball.

<sup>43</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto\\_efficiency](https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_efficiency)

<sup>44</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental\\_theorems\\_of\\_welfare\\_economics](https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_theorems_of_welfare_economics)



## DESVIRANDO A CANOA DO SETOR ELÉTRICO, PARTE 1: CAPACIDADE E SEGURANÇA

*A canoa virou / Quem deixou ela virar /  
Foi por causa da menina / Que não soube remar.*

Uma das atrações turísticas mais populares de Estocolmo é o museu Vasa, que contém um navio de guerra do século 17 perfeitamente preservado. A Suécia era na época uma superpotência militar, e o rei Gustavo Adolfo queria um navio de guerra à altura do país. A principal característica do navio seria um deque com canhões que o tornaria o mais poderoso do mundo.



O contrato para construção do Vasa foi assinado em 1625, porém os pagamentos não foram feitos e a construção atrasou. Só que a Suécia perdeu dez navios em uma



batalha e o rei Gustavo mandou que seu super-navio fosse terminado na correria. A situação complicou ainda mais quando o rei ouviu rumores de que seus arqui-rivais dinamarqueses estavam

construindo um navio, o Sancta Sophia, do mesmo tamanho que o Vasa, só que com *dois* deques de canhões. O rei Gustavo não teve dúvida: mandou fazer o mesmo no Vasa. Só que havia um pequeno detalhe: a estrutura do navio já estava pronta, com somente um deque. O rei ignorou os protestos veementes dos construtores, pois se considerava um especialista em artilharia, e mandou colocar uma “laje” extra no navio para acomodar mais canhões; e, de quebra, ordenou que todos os canhões fossem do máximo calibre (antes havia uma mistura de canhões grandes e médios, como nos navios de guerra modernos). Uma medida da empolgação do rei é que ele mandou colocar 60 canhões, porém só havia 56 aberturas no navio para que os canhões atirassem. Outro dado interessante é que a fabricação dos canhões extras iria atrasar a entrega do navio. O rei não teve dúvida: contratou fundições sem experiência para fazer os canhões a “toque de caixa”. Como resultado, boa parte dos mesmos não funcionava direito.

Nesta altura, os construtores estavam histéricos, alertando que o centro de gravidade do navio estava totalmente fora do lugar, e que o mesmo ia virar. Isto alarmou os almirantes, que resolveram fazer um teste: colocaram marinheiros para correr de um lado para o outro do navio. Na primeira volta, o navio adernou; na segunda, adernou mais ainda... e os almirantes decidiram interromper o teste pois, afinal de contas, o rei havia dito que “os responsáveis por qualquer atraso sofrerão a ira de Sua Majestade”.

No desespero, os almirantes resolveram baixar o centro de gravidade do navio na marra, colocando 130 toneladas de lastro no porão. Só que isto fez com que as aberturas dos canhões do deque inferior ficassem quase na linha d'água. O resultado deste imbróglho foi o esperado: a água entrou nestas aberturas, e o Vasa afundou em sua viagem inaugural ainda na baía de Estocolmo, na frente de milhares de pessoas, incluindo membros da corte e embaixadores.



Também como era de se esperar, o rei ficou furioso e ordenou um inquérito para identificar e punir os responsáveis por tamanha “imprudência e negligência”. Dado que tudo tinha sido feito estritamente de acordo com as instruções de Sua Majestade, o inquérito concluiu que “só Deus sabe o que aconteceu” e identificou um único responsável, um dos construtores que, convenientemente, havia morrido há alguns meses.

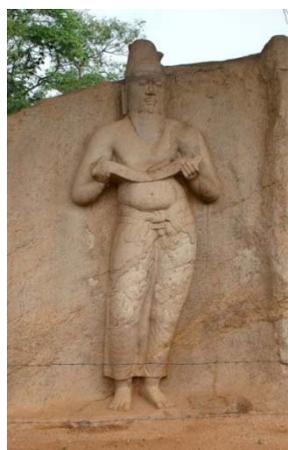


## O MISTÉRIO DO DESAPARECIMENTO DOS RESERVATÓRIOS DAS HIDRELÉTRICAS

*Quem controlar o rio Amarelo controlará a China*  
Yu, o Grande

Há milênios diversas civilizações têm construído reservatórios de acumulação com o intuito de aumentar a segurança hídrica, possibilitando diversos usos da água, como o consumo humano, dessedentação animal, irrigação de culturas, transporte hidroviário e controle de cheias. A primeira referência histórica de gestão de recursos hídricos para amenizar secas, incluindo a construção de reservatórios, vem da Índia, há mais de 5 mil anos.

Na China, por sua vez, a motivação principal para a construção de reservatórios foi o controle de inundações no rio Amarelo. Há mais de 4 mil anos, o rei Yao encarregou o mestre agrícola Gun de controlar as cheias do rio Amarelo. Embora Gun tenha fracassado, seu filho Yu concebeu um sistema de controle de inundações muito bem sucedido, que trouxe prosperidade para o país e permitiu que a antiga cultura chinesa florescesse ao longo do rio Amarelo e outras vias navegáveis. Segundo a lenda, Yu passou a maior parte dos treze anos de duração das obras auxiliando pessoalmente o trabalho de dragagem dos leitos dos rios, inclusive comendo e dormindo com os trabalhadores comuns. O rei Shun, sucessor de Yao, ficou tão impressionado com os trabalhos de engenharia de Yu que resolveu passar o trono para ele, ao invés de seu próprio filho. Yu (figura ao lado) é referido na China como o *Grande Yu que Controla as Águas*.



É interessante observar que as inundações são um tema crítico para os chineses até hoje. Por exemplo, as severas cheias de 1998<sup>45</sup> afetaram 180 milhões de pessoas, danificaram 13 milhões de residências e forçaram a evacuação de uma área de 100 mil km<sup>2</sup>. Embora Três Gargantas seja a maior hidrelétrica do mundo, com uma produção de quase 100 TWh<sup>46</sup>, seu objetivo principal é controle de cheias e auxílio à navegação fluvial.

Finalmente, no século doze, o rei cingalês Parakramabahu I (figura ao lado) teria dito: “*não deixe nenhuma gota de água escoar para o oceano sem beneficiar a humanidade*”. Para fazer isto criou, é claro, reservatórios, alguns dos quais podem ser visitados em viagem ao Sri Lanka (a PSR desenvolveu os modelos de planejamento e operação atualmente utilizados naquele país).

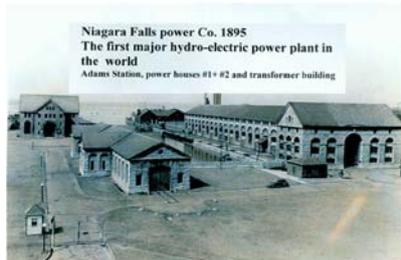
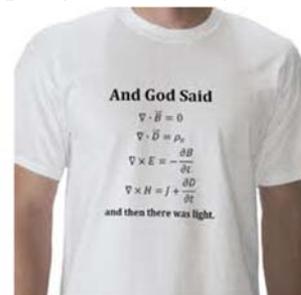
<sup>45</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/1998\\_China\\_floods](https://en.wikipedia.org/wiki/1998_China_floods).

<sup>46</sup> A geração hidrelétrica de Três Garagantas em 2014 foi de 98,8 TWh; como referência, Itaipú produziu 98.6 TWh em 2013 e 87.8 TWh em 2014,

## Reservatórios e geração de energia elétrica

A eletricidade é tão essencial para a sociedade (comunicações, computação, iluminação, ar condicionado, indústria etc.) que surpreende lembrar que as equações de Maxwell têm pouco mais de 150 anos.

Outro dado impressionante é que apenas vinte anos após Maxwell, a corrente alternada concebida por Tesla, com apoio de George Westinghouse, já permitiu que hidrelétricas a centenas de quilômetros de distância suprissem indústrias e residências a um custo reduzido.



Niagara Falls power Co. 1895  
The first major hydro-electric power plant in the world  
Adams Station, power houses #1 & #2 and transformer building



A primeira hidrelétrica de grande porte (na época) foi a usina de *Niagara Falls*, inaugurada em 1895. Sua capacidade instalada, 75 MW, era maior do que toda a produção de energia elétrica dos Estados Unidos (a capacidade atual desta usina é 2.400 MW).

O Brasil foi um dos primeiros países a adotar a geração hidrelétrica. A usina de Marmelos foi inaugurada pelo imperador Pedro II, pouco antes da Proclamação da República. A seguir, veio a usina de Parnaíba, em 1901; e três anos depois, a

usina de Fontes, com 24 MW, a segunda maior hidrelétrica do mundo.

Dado que a energia hidrelétrica depende da diferença de níveis entre o nível da água e o das turbinas, a melhor maneira de aproveitar o potencial hidrelétrico é construí-las em locais com desníveis topográficos. Em países montanhosos, basta desviar a água por canais ou tneis para a geração de energia nas usinas. Já em países em que os desníveis são menos acentuados, como é o caso de boa parte do Brasil, é necessário construir barragens de forma a “concentrar” as quedas. Como consequência, os reservatórios acumulam estoques de água bastante significativos. O reservatório da usina de Furnas, por exemplo, é maior do que a baía de Guanabara.

Marmelos-MG (1889)



Fontes-RJ (1904)

■ 24 MW



Parnaíba-SP (1901)



A existência de reservatórios permite *desacoplar a produção de energia das hidroelétricas da variabilidade da afluência* que está chegando a cada momento. Se a necessidade de produção é maior do que a energia que seria produzida pelo turbinamento do volume afluente, esvazia-se o reservatório para turbinar um volume adicional. E vice-versa: se a afluência é maior do que o volume que se deseja turbinar, armazena-

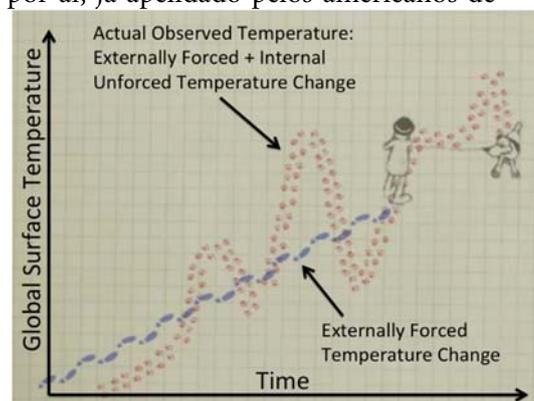
se o excedente. O mecanismo é análogo ao de uma pessoa que tem uma remuneração variável em cada mês (por exemplo, um “freelance”). Se esta pessoa tem uma caderneta de poupança com um saldo equivalente a, por exemplo, três anos de despesas (aluguel, luz etc.), não terá dificuldade de pagá-las mesmo que enfrente vários meses de “vacas magras”. No caso do sistema elétrico, o saldo da “poupança energética” também é de três anos, isto é, é possível atender a demanda mesmo que ocorra uma seca muito severa desta duração.





## EL NIÑO “GODZILLA” E O SETOR ELÉTRICO: WINTER IS NOT COMING?

Na edição de abril do ER, em que analisamos os efeitos alarmantes das mudanças climáticas na geração hidrelétrica, nós usamos o bordão “*Winter is Coming*”, da série de televisão *Game of Thrones*. Para a edição atual, onde o tema é o El Niño gigantesco que vem por aí, já apelidado pelos americanos de Godzilla, nós percebemos que este bordão também se aplica, só que no sentido oposto (*not coming*). Estes efeitos contraditórios ilustram bem a complexidade da modelagem de chuvas e vazões, pois o “ruído” das oscilações de curto e médio prazo se sobrepõe ao “sinal” estrutural da mudança climática. Uma ilustração interessante desta superposição é a de um cachorro (oscilações) e seu dono (estrutural) passeando em uma praia (vídeo completo e informações adicionais no rodapé<sup>47</sup>).



### Por que este próximo El Niño está chamando tanta atenção?

Embora o El Niño seja um fenômeno observado e estudado há séculos, ele só atraiu a atenção da mídia, e da população em geral, com o “estrago” que causou em 1997, em diversas partes do mundo. Nos Estados Unidos, em particular, o fenômeno ficou famoso com um esquete<sup>48</sup> do comediante Chris Farley no programa *Saturday Night Live*, uma espécie de Casseta e Planeta de lá.



Como será visto a seguir, o El Niño Godzilla está preocupando porque os índices de temperatura do oceano que são usados como preditores deste fenômeno estão atualmente bem parecidos com os de 1997. Os objetivos deste editorial são: (i) lembrar os impactos do El Niño de 1997/1998 em diferentes partes do globo; e (ii) mostrar como tal fenômeno pode ser considerado em nossos modelos de planejamento da expansão e operação de longo e médio prazo.

### O que é El Niño?

Como mencionado, o El Niño está associado à temperatura do oceano, em particular às águas quentes que todo ano aparecem na costa norte de Peru, na época de Natal. Os pescadores da região apelidaram este fenômeno de *Corriente de El Niño*, em referência ao nascimento do Menino Jesus.

<sup>47</sup> Vale a pena ver o vídeo em <https://www.youtube.com/watch?v=e0vj-0imOLw>. O astrônomo Neil deGrasse Tyson, na refilmagem da lendária série de TV *Cosmos*, usa a mesma analogia ([https://www.youtube.com/watch?v=cBdxDFpDp\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=cBdxDFpDp_k)). Finalmente, o respeitado site científico Real Climate tem uma análise mais técnica deste tema em <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2012/01/the-dog-is-the-weather/>

<sup>48</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=mkSRUf02gu8>

Em termos científicos, a presença de águas anormalmente quentes na região do Pacífico Tropical causa mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, como o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com essa anomalia na temperatura do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera, que por sua vez determinam mudanças nos padrões de transporte de umidade, e a partir disso, variações nas distribuições de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo, também são observados aumento ou queda de temperatura.

### Efeitos globais do El Niño 1997/1998

Os eventos de El Niño costumam se repetir em intervalos irregulares, entre 3 e 7 anos, e com intensidades também bastante variadas. Como mencionado, o El Niño mais intenso desde a existência de observações de temperatura da superfície do mar (TSM) ocorreu em 1997/98, seguido pelo de 1982/83<sup>49</sup>. As figuras ao lado mostram os efeitos globais daquela ocorrência de El Niño (fonte: CPTEC/INPE). Também como mencionado, o El Niño 1997/98 entrou para a história principalmente pelos prejuízos causados em diversas partes do mundo, como mostra uma reportagem do *The Economist* de maio de 1998<sup>50</sup>.

Enquanto as regiões Central e Sul do México passaram por uma estiagem severa, sua costa Pacífica foi atingida por tempestades de chuva e vento, raras neste lado. O Caribe enfrentou uma redução nas chuvas com incêndios florestais em Cuba, e interrupção no abastecimento de água à noite em algumas ilhas do leste Caribenho. O Canal do Panamá restringiu a passagem de grandes navios devido à seca. A Colômbia recebeu metade de sua precipitação média.



O Deserto de Sechura, no Peru, virou um lago. As pescarias no Chile foram arruinadas devido à ausência da ressurgência, fenômeno responsável pela enorme quantidade de nutrientes advindos do fundo do oceano nessa região da costa, e pela sua enorme produtividade pesqueira. No Norte do Brasil, Guiana e Suriname, até na Ilha de Trinidad, a vegetação seca (em conjunto com a ação humana) causou incêndios florestais. No Nordeste brasileiro, que lida constantemente com a seca, plantações foram perdidas. Já na região Sul, o rio Paraná subiu 8 metros acima do seu nível normal, inundando milhões de hectares e



<sup>49</sup> <http://enos.cptec.inpe.br/elniño/pt>

<sup>50</sup> The season of El Niño. Fonte: <http://www.economist.com/node/127009>

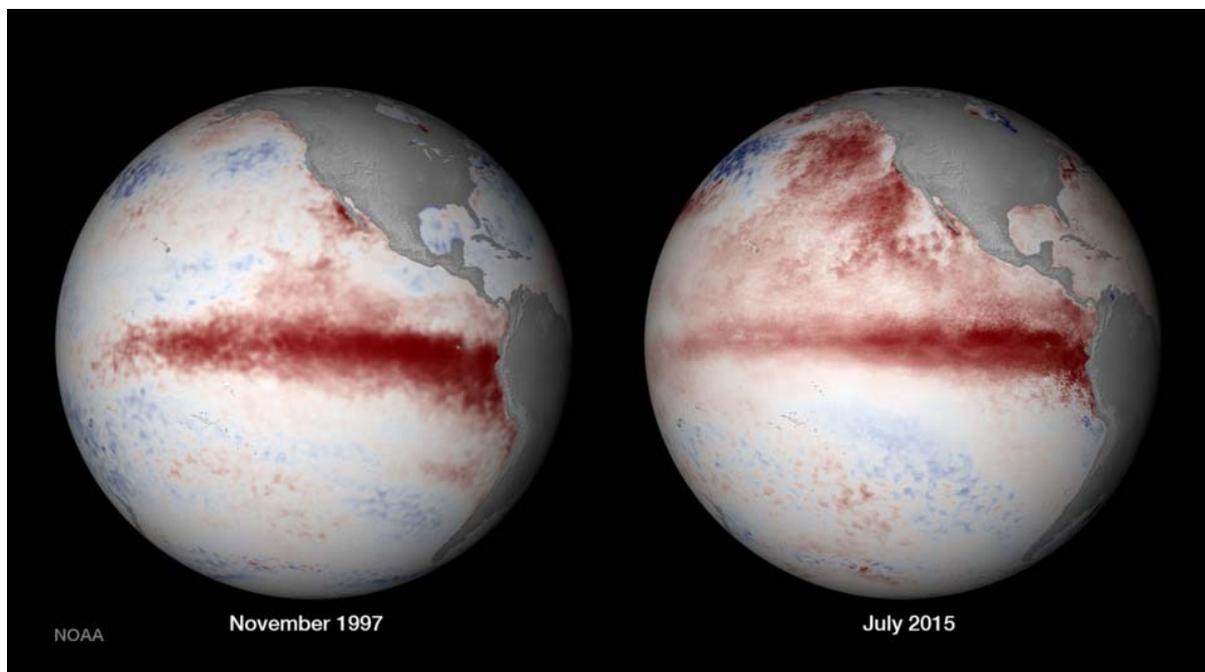
obrigando centenas de milhares de pessoas a deixarem suas casas no Paraguai, Uruguai e Argentina.

Na Califórnia, as chuvas implacáveis causaram deslizamentos de terra e desmoronamentos que deixaram um prejuízo de centenas de milhões de dólares.

Ainda de acordo com o *Economist*, o El Niño matou pelo menos 900 pessoas, centenas de milhares de cabeças de gado, além de ter causado um impacto estimado em 20 bilhões de dólares nas economias dos países atingidos.

### O El Niño Godzilla

Em março de 2015, quando o desenvolvimento do El Niño foi confirmado, parecia que esse evento seria fraco. Entretanto, diante das mudanças observadas nos últimos meses, em julho de 2015 cientistas da NASA, NOAA e outras agências começaram a observar similaridades entre as condições atuais e o desenvolvimento do evento de 1997/98.



**Figura 1 – Comparação entre a temperatura da superfície do oceano em Novembro de 1997 e Julho de 2015.**  
Fonte: NOAA Environmental Visualization Laboratory<sup>51</sup>.

O informe<sup>52</sup> do NCEP também menciona as médias de todos os modelos e indica que as anomalias de TSM serão maiores que 1.5 °C (caracterizado como um El Niño forte) entre o final de 2015 e o início de 2016 (os picos de El Niño são normalmente observados entre dezembro e abril, quando naturalmente as águas já são mais quentes).

É importante observar que estas semelhanças na temperatura não significam necessariamente que os impactos deste próximo El Niño serão como o de 1997/1998<sup>53</sup>. No entanto, dado o risco que ele representa, conforme visto acima, é preciso estar preparado. É sobre isso que falaremos a seguir.

<sup>51</sup> <http://www.nnvl.noaa.gov/MediaDetail2.php?MediaID=1742&MediaTypeID=1>

<sup>52</sup> [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

<sup>53</sup> <http://www.climatecentral.org/news/comparing-el-nino-to-1997-19278>

### Possíveis efeitos de um El Niño severo no Brasil

Como mostra a figura a seguir, o El Niño tem efeitos diversos no país. Enquanto que na região Sul espera-se um aumento de precipitações, no Nordeste, secas severas são esperadas para o período dezembro-fevereiro (justamente o período que normalmente é chuvoso).

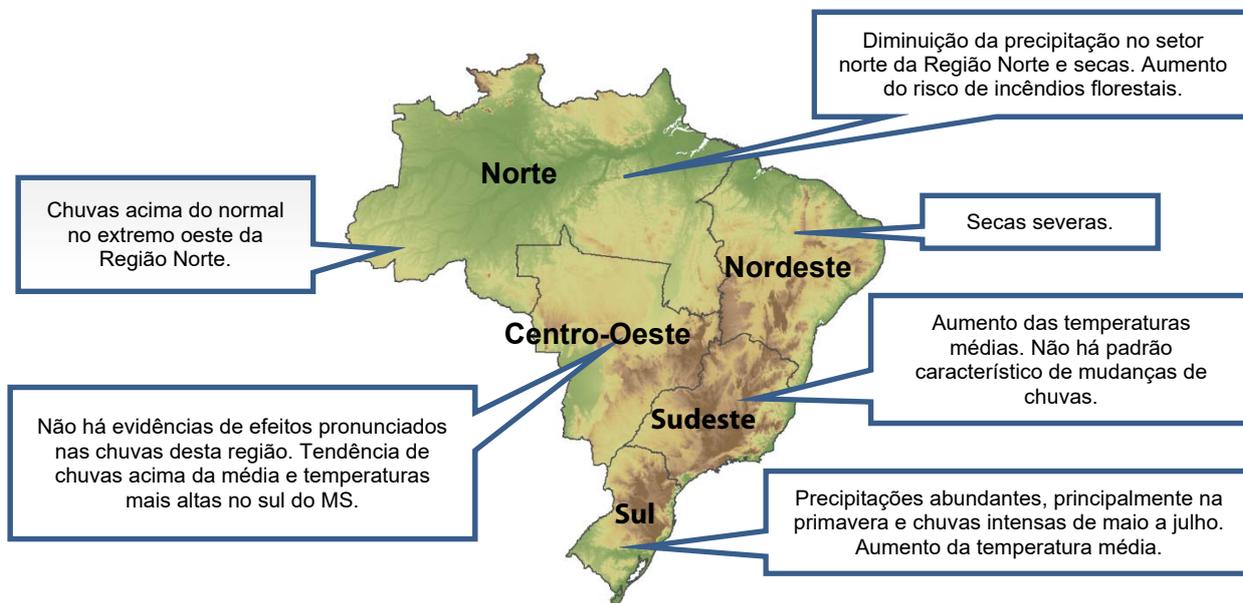


Figura 2 – Efeitos do El Niño no Brasil.

Para o Nordeste, o El Niño representa más notícias, pois esta região vem sofrendo com uma estiagem acentuada há vários anos. Exemplo disso é a situação dos açudes no Ceará: em 21/08/2015, 118 açudes estavam com menos de 30% de capacidade, apenas três açudes tinham mais de 90% de sua capacidade.

Além do impacto direto da seca na capacidade de produção das usinas hidrelétricas, há um efeito adicional indireto na região Nordeste, mas que pode ser significativo: o aumento do consumo de energia elétrica devido ao maior bombeamento para irrigação. Este efeito, e outros, são discutidos na seção Ambiental desta edição do ER.

Para a região Sudeste, a relação entre o El Niño e a operação do sistema também é indireta: como visto na figura, não há uma tendência estatística entre o El Niño e a ocorrência de hidrologias piores ou melhores do que a média no Sudeste. No entanto, há uma tendência de aumento da temperatura, o que se traduz em um aumento da demanda que se torna cada vez mais significativo devido à penetração do ar condicionado. (Foi este aumento da temperatura, mesmo no inverno, que nos levou à pergunta *winter is not coming?* do título deste editorial.)

De acordo com o relatório<sup>54</sup> do *Climate Prediction Center* (NCEP) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), há uma probabilidade de 90% de o próximo El Niño continuar durante o dez/2015 e mar/2016 e 85% de durar até o período entre mar/2016 e jun/2016. Portanto, pode ser importante representar o impacto da temperatura na demanda nas análises operativas destes próximos meses.

Finalmente, a região Sul apresenta um quadro mais favorável para a produção hidrelétrica, pois o El Niño tende a aumentar as chuvas naquela região. O único alerta é a possibilidade de vertimentos devido à intensidade das chuvas, pois a capacidade de armazenamento desta região é relativamente pequena.

<sup>54</sup> [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)



## MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O FUTURO CHEGOU?

*Admit that the waters / Around you have grown  
And accept it that soon / You'll be drenched to the bone.*

Bob Dylan, The Times They Are A-Changin'

Desde seu primeiro capítulo, vários personagens da ultra-badalada série de televisão *Game of Thrones* repetem o bordão “Winter is Coming”. Embora nunca esteja claro o que acontece quando este inverno chega, há pistas de que não deve ser nada agradável, por exemplo, uma muralha de duzentos metros de altura e quinhentos quilômetros de extensão, construída há séculos, que supostamente defenderia a população contra a tal ameaça. No entanto, dado que ninguém tem certeza sobre *quando* este evento vai ocorrer, todos os personagens se distraem conspirando contra os demais em diversas permutações, casando entre si sem largar os(as) amantes, criando dragões etc. Além disto, após cinco anos de série em que o tal do inverno não aparece, os personagens – e espectadores – meio que pararam de prestar atenção nos avisos. Isto é, até a semana passada, quando o inverno finalmente apareceu, e mostrou ser uma mistura muito peculiar da série de zumbis *Walking Dead* com o mundo congelado de *Frozen*. Como todos estavam despreparados, o resultado do susto foi um massacre que deve ter reduzido muito a folha de pagamento de extras da série.



Mudando em 180 graus a direção do termostato, podemos ver uma analogia entre o bordão sobre o inverno do *Game of Thrones* e o tema de aquecimento global. É bem provável que a maioria de nossos leitores acredite que o aquecimento global seja um problema importante para o país. O mesmo ocorre com o governo, como evidenciado pelas declarações de apoio que o Brasil tem dado a ações internacionais para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

No entanto, é também provável que os mesmos leitores, bem como o governo, considerem que o aquecimento, embora importante, não seja um problema *urgente*.

A razão da sensação de que o aquecimento é problema para depois é que as análises de impacto climático feitas pelo IPCC, o organismo das Nações Unidas que lidera este tipo de estudos, e outras organizações científicas, em geral se referem a horizontes bem distantes, tipicamente o ano 2100. Ora, para quem está em um país em que já é difícil prever o que vai ocorrer em poucos *meses*, preocupar-se com o que vai ocorrer daqui a oitenta e cinco anos parece até falta do que fazer.

No entanto, será visto a seguir que há fortes evidências de o aquecimento global não é um problema para *mañana*; pelo contrário, ele já deve ser considerado nas análises de planejamento e decisões de investimento.

## Ocorrência de eventos extremos

O primeiro conjunto de evidências de que o futuro que imaginávamos longínquo provavelmente já chegou vem da análise de eventos extremos de temperatura, secas (ver gráfico da Califórnia, a seguir), furacões e similares, que têm sido a marca registrada das últimas décadas. Embora cada evento extremo, *quando visto isoladamente*, possa ser explicado como um azar, ou mau humor de São Pedro, a análise *conjunta* dos eventos extremos em todo o planeta mostra que a explicação de que foi um acaso se torna implausível. Em outras palavras, se eu sorteio uma moeda por quatro vezes seguidas, e em todas apareceu cara, é um evento plausível. No entanto, se aparecer cara em vinte sorteios consecutivos, podemos concluir que a moeda está com um viés. Fazendo uma analogia com as análises de edições anteriores do ER sobre o “descolamento” entre as simulações operativas com os modelos oficiais e a realidade, foi o fato de que as vazões da região Nordeste estiveram abaixo da média por vinte anos seguidos que nos fez suspeitar de que havia algo errado com a vazão média naquela região.



Nos últimos anos, a análise integrada dos eventos extremos a nível mundial tem mostrado que mesmo que o *valor médio* de eventos como chuvas e vazões não tenha mudado significativamente ao longo do tempo, a ocorrência de eventos extremos, isto é, secas e cheias severas, passou a ser mais frequente. Em outras palavras, é como se as “caudas” da distribuição de probabilidade das chuvas e vazões tivessem ficado mais “pesadas”. Usando a frase da respeitada organização *Union for Concerned Scientists*, eventos extremos são o “novo normal”.

Além de detectar uma mudança na distribuição de probabilidade dos eventos extremos, as análises científicas recentes têm estimado os novos pesos das “caudas” das mesmas. Por exemplo, um artigo recente da *Nature Climate Change* mostra que eventos extremos de temperatura estão ocorrendo quatro ou cinco vezes mais frequentemente do que no passado, isto é, um verão daqueles insuportáveis que ocorria a cada vinte anos, em média, agora tende a ocorrer a cada quatro ou cinco anos.

Union of  
Concerned Scientists  
Science for a healthy planet and safer world

Our Work | About | Take Action

GLOBAL WARMING > GLOBAL WARMING IMPACTS

## Is Global Warming Linked to Severe Weather?

As Earth warms, powerful storms are becoming the new normal

Overhead, tall, dense clouds are poised to burst, their presence a sign of an imminent deluge.

These cumulonimbus masses are a reminder of the destructive floods that are occurring around the globe, which, taken together, are potent signals of one of the greatest environmental challenges of our time: [global warming](#).



## LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 27 APRIL 2015 | DOI: 10.1038/NCLIMATE267

nature  
climate change

## Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes

E. M. Fischer\* and R. Knutti

Climate change includes not only changes in mean climate but also in weather extremes. For a few prominent heatwaves and heavy precipitation events a human contribution to their occurrence has been demonstrated<sup>1–5</sup>. Here we apply a similar framework but estimate what fraction of all globally occurring heavy precipitation and hot extremes is attributable to warming. We show that at the present-day warming of 0.85 °C about 18% of the moderate daily precipitation extremes over land are attributable to the observed temperature increase since pre-industrial times, which in turn primarily results from human influence<sup>6</sup>. For 2 °C of warming the fraction of precipitation extremes attributable to human influence rises to about 40%. Likewise, today about 75% of the moderate daily hot extremes over land are attributable to warming. It

changed, and FAR indicates the fraction attributable to humans. ‘Fraction of events’ throughout the text should be interpreted as an anthropogenic contribution to the probability of such events, rather than some events being anthropogenic and some not. We base our estimates on well-defined percentiles of daily temperature and precipitation derived from long pre-industrial control runs of 25 CMIP5 models (see models in Supplementary Table 1).

In response to increasing global temperatures, models project more heavy precipitation days, as illustrated by histograms aggregating daily precipitation (Fig. 1) across Northern Europe and North America (see Methods). The simulated occurrence of heavy precipitation days under present-day warming of 0.85 °C (blue lines) is only slightly higher than in pre-industrial conditions. At a warming of 2 °C (red lines) the probability of the most extreme

(Para os leitores interessados em mais detalhes neste tema, recomendamos o excelente resumo da revista *The Economist*, intitulado “*Is it global warming or just the weather?*”, publicado em 9 de maio.)



## TARIFAÇÃO DE ENERGIA: AINDA NÃO CHEGAMOS AO FUNDO DO POÇO...

Quando você descobre que está em um buraco, a primeira providência é parar de cavar.

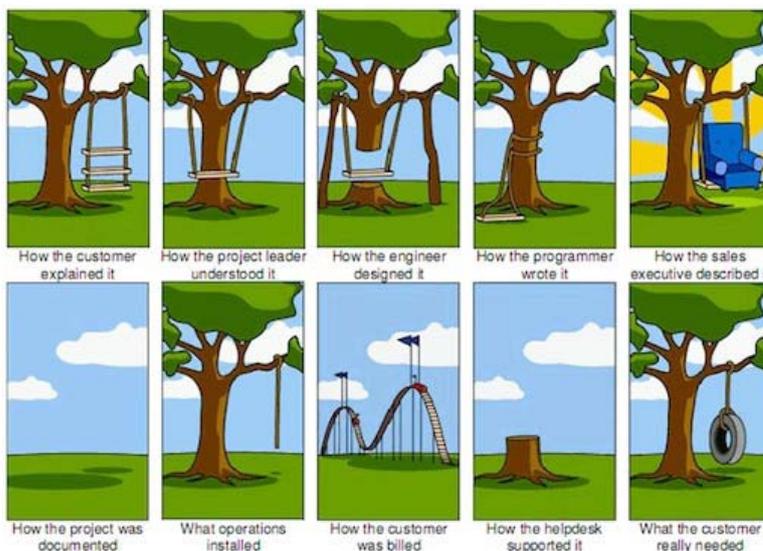
Warren Buffet

Um dos ícones na engenharia de projetos é um desenho que mostra as etapas sucessivas de construção de um balanço em uma árvore<sup>55</sup>. Qualquer pessoa que já fez projetos engenharia, estudo de consultoria ou desenvolveu *software* sabe que por trás do humor do desenho há um retrato muito preciso de como as coisas funcionam na vida real, com confusões, mal-entendidos, erros gerenciais etc.

Este desenho, cuja primeira versão é dos anos 1970, tem sido sempre atualizado. Uma versão recente, por exemplo, inclui design estilo Apple e *open source* no balanço<sup>56</sup>.

Outra sequência satírica bastante conhecida na área de gestão, tanto governamental como privada, e que também retrata com bastante fidelidade a realidade, são as chamadas “seis fases de empreendimentos ambiciosos”<sup>57</sup>: (1) entusiasmo; (2) desilusão; (3) pânico; (4) busca dos culpados; (5) punição dos inocentes; e (6) recompensa dos que não se envolveram (ver o *mousepad* da figura ao lado)

Acreditamos que muitos leitores verão um paralelo entre as fases acima e os eventos do setor elétrico nos últimos anos. Por exemplo, a fase de entusiasmo foi de 2004 a meados de 2012, quando os leilões ganharam credibilidade e o custo da energia foi sendo gradualmente reduzido. O “marco zero” da fase seguinte, de desilusão, foi a implantação confusa e controversa da MP 579, ao final de 2012<sup>58</sup>. Em 2013, o governo não seguiu o conselho da frase em epígrafe (parar de aumentar o buraco) e piorou a situação com mudanças regulatórias bruscas e contraproducentes, tais como a Resolução CNPE nº 03 (que empurrou o setor elétrico para a judicialização). A partir de 2014, passamos para a fase de, digamos, intranquilidade, quando se constatou que mesmo medidas operativas extremas, tais como o acionamento permanente de todas as



<sup>55</sup> <http://www.tamingdata.com/2010/07/08/the-project-management-tree-swing-cartoon-past-and-present/>.

<sup>56</sup> <http://projectcartoon.com/create/>.

<sup>57</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_phases\\_of\\_a\\_big\\_project](http://en.wikipedia.org/wiki/Six_phases_of_a_big_project).

<sup>58</sup> Como costuma ocorrer, já havia alguns sinais “amarelos” tais como a polêmica sobre a contratação de térmicas a óleo e o alerta sobre o esvaziamento anômalo dos reservatórios em 2010.

térmicas e o não atendimento (“relaxação”) das metas de uso da água para irrigação, transporte hidroviário etc. não conseguiam evitar o esvaziamento acentuado dos reservatórios.

Por sua vez, a fase de busca dos culpados começou em 2015, quando as declarações do governo sobre a “pior seca do século” deixaram claro que São Pedro tinha sido escolhido como “meu malvado favorito”, ignorando o fato de que os números sobre vazões históricas (mostrados na edição anterior do ER) exoneram completamente o santo.

Finalmente, chegamos à fase de punição dos inocentes: quem são eles? A resposta é: somos nós, consumidores, que estamos pagando o “pato tarifário”. Isto significa que a PSR acha que, de alguma maneira, os consumidores não devem arcar com o tarifaço? A resposta é que devemos, sim, pagar, pois em última análise as decisões foram tomadas em nosso nome. Em outras palavras,

Embora não adiante chorar sobre o leite derramado, é fundamental entender *como e porque* este laticínio metafórico se esparramou, isto é, como chegamos a esta situação. Caso contrário, os problemas podem voltar a ocorrer, o que será um duplo castigo para a sociedade, pois significa que não aprendemos com os erros.



## O NOME DA ROSA (E DE OUTRAS COISAS COMEÇANDO COM R...)

*Palavras são palavras, nada mais que palavras.*  
 Prefeito Walfrido Canavieira, personagem de Chico Anysio<sup>59</sup>

Todo avô sabe que sua obrigação é mimar descaradamente os netos. Esta tradição começou com o Todo Poderoso, que – pelo menos até o desagradável incidente com a serpente e maçã – achava que Adãozinho era o máximo. Além da moradia (literalmente) paradisíaca, Adão recebeu dois presentes do “Vô”<sup>60</sup>. O primeiro foi o domínio sobre *toda* a natureza, animais, plantas etc.<sup>61</sup>; e o segundo foi o direito de *dar o nome*<sup>62</sup> de cada um dos bichos, plantas etc. da Criação.

Embora o título de Rei da Natureza pareça bem mais importante do que ser o Dicionário da mesma, foi este segundo presente que determinou o progresso – e problemas – da humanidade. A razão para este progresso foi a extensão dos nomes de objetos para *ideias*, que são a base de nossa capacidade de raciocínio. Platão foi um dos primeiros a argumentar que o “mundo das ideias” era tão importante quanto o “mundo dos objetos”; o problema foi que depois ele se empolgou um pouco e passou a dizer que os dois mundos eram idênticos, isto é, o número 5 era real “de verdade”, igual a uma pedra<sup>63</sup>. O filósofo Pedro Abelardo<sup>64</sup>, no século 12, deu uma consertada neste exagero, e formulou a questão de maneira definitiva, usando a rosa como exemplo: a ideia abstrata de “uma rosa” seria o *atributo* que milhões de rosas reais têm em comum<sup>65</sup>. Este “conceito dos universais” de Abelardo acertou na mosca, e é discutido até hoje, pois estudos neurológicos indicam que as ideias abstratas surgem de analogias e generalizações a partir de várias instâncias concretas<sup>66</sup>. Outro exemplo da importância de Abelardo é

<sup>59</sup> Alguns sítios da Internet atribuem equivocadamente esta frase a outro personagem famoso de Chico Anysio, o infame deputado Justo Veríssimo (o que está sempre escarnecendo dos pobres).

<sup>60</sup> Momento de genealogia teológica. Embora a expressão “também sou filho de Deus” seja corriqueira, quem estudou em colégio católico sabe que Deus é composto de três divindades: o Pai, o Filho, e o Espírito Santo; e que a Criação foi feita pela Trindade. Portanto, o ser humano é, no melhor dos casos, neto de Deus.

(o diagrama ao lado, que apesar da aparência bem moderna é do século 12, explica a relação Deus  $\Leftrightarrow$  Trindade).



<sup>61</sup> Bíblia, Livro do Gênesis, 1:26 (<http://www.bibliaonline.net/biblia/?livro=1>)

<sup>62</sup> Livro do Gênesis, 2:20.

<sup>63</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Platonic\\_realism](http://en.wikipedia.org/wiki/Platonic_realism). Muitos matemáticos até hoje defendem a ideia platônica da realidade “real” dos números, geometria, equações diferenciais etc., a ponto de dizerem que os teoremas não são fruto da criatividade humana, e sim “descobertas” de algo que sempre existiu, da mesma maneira que dizemos que Cabral descobriu o Brasil.

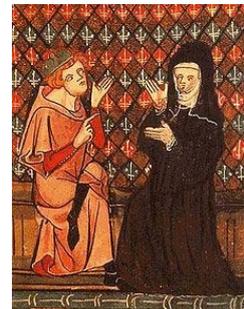
<sup>64</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Peter\\_Abelard](http://en.wikipedia.org/wiki/Peter_Abelard)

<sup>65</sup> De maneira análoga, o número 5 é o atributo comum a todos os conjuntos com cinco objetos concretos, isto é, cinco pedras, cinco lacraias etc. Como todos os conceitos profundos, isto parece óbvio, mas quando se olha com cuidado, é bem complicado. Por exemplo, o monumental livro *Principia Mathematica*, de Bertrand Russell e Alfred Whitehead, que procurou tornar precisa a lógica matemática, leva trinta páginas de equações para definir o número “1”(!)

<sup>66</sup> Ver, por exemplo, o livro *The Mind of a Mnemonist*, do neurologista russo Alexander Luria. O mneumonista do título, Solomon Shereshevsky, tinha uma memória absolutamente perfeita e infinita, isto é, ele lembrava *todos* os detalhes de *tudo* que ele observava, mesmo após décadas. Luria, que trabalhou com ele por mais de trinta anos, se fez uma pergunta muito interessante: dado que todos nós gostaríamos de ter uma memória perfeita, por que a seleção natural não espalhou os genes superiores de Solomon? A resposta, surpreendente e genial, é que a memória é *antagônica* ao raciocínio abstrato: o preço que

que o nome do conhecido livro de Umberto Eco, *O Nome da Rosa*, é uma homenagem ao seu argumento com a flor (que é inclusive mencionado em um trecho do livro).

Apesar de todas estas credenciais intelectuais, Abelardo ficou famoso por causa de um evento mais para revista *Caras* do que para *Acta Philosophorum*, que foi o romance proibido com sua aluna Heloísa, e que teve consequências bem desagradáveis para ambos<sup>67</sup>. Esta história de amor intenso e infeliz foi immortalizada no poema *Romance da Rosa*, um *best seller* durante centenas de anos (ver o casal na figura ao lado, de uma edição do século 14 do livro).



Quatro séculos depois, Abelardo e Heloísa foram uma das inspirações para Romeu e Julieta, de Shakespeare. A fala mais famosa desta peça retoma a questão filosófica do nome da rosa: *What's in a name? That which we call a rose by any other name would smell as sweet*. Nesta fala, Julieta argumenta que os nomes das coisas (no caso, os sobrenomes das respectivas famílias) não afetam o que o casal realmente é. Em termos modernos, Julieta está defendendo a mesma posição dos engenheiros e cientistas, de que a realidade objetiva é mais importante do que as *percepções* sobre esta realidade.

Como sabemos, Julieta estava completamente enganada; a ideia da rivalidade das famílias prevaleceu sobre a realidade, e liquidou o casal. O final infeliz da peça ilustra bem a ambivalência do segundo presente do Todo Poderoso para Adão. Por um lado, como vimos com Abelardo, as ideias ampliam a imaginação do ser humano para além da realidade imediata. Por outro, como mostrou Shakespeare, as ideias podem igualmente distorcer e embrutecer esta mesma imaginação do ser humano. O livro *1984*, de George Orwell, é provavelmente a melhor, e mais sinistra, ilustração do poder da percepção sobre a realidade. Embora a referência mais lembrada do livro seja o *Big Brother*, a ideia fundamental em *1984* é que, através da manipulação da linguagem, nós podemos controlar os pensamentos das pessoas. No livro, isto é feito através de uma nova linguagem, chamada *newspeak*, em que palavras como *doublethink*, *blackwhite* e *thoughtcrime* fazem com que conceitos como liberdade e contradição sejam literalmente impossíveis de imaginar<sup>68</sup>.

As técnicas dos marqueteiros podem ser vistas como uma versão “light” – mas igualmente eficaz – do *newspeak* de Orwell. O pioneiro destas técnicas foi um sobrinho de Freud, Edward Bernays<sup>69</sup>, responsável por campanhas lendárias na década de 1920, por exemplo, a que levou as mulheres a fumar (a propaganda dizia que os cigarros eram “tochas da liberdade”) e – uma favorita do redator deste ER – a que mostrava, com testemunhos de milhares de médicos, que ovos com bacon eram o café da manhã mais saudável. Bernays também cunhou a expressão “relações públicas” e foi contratado tanto por governos como por empresas para melhorar as imagens dos mesmos perante o público. Sua técnica favorita era o *spin*, que significa “virar” um fato negativo para mostrá-lo de maneira mais favorável (os profissionais desta área são conhecidos até hoje como *spin doctors*<sup>70</sup>). As técnicas de spin incluem, por

a humanidade teve que pagar para ficar esperta foi ser meio desmemoriada. Além de ser uma ideia que, como mencionado, abriu um enorme campo de pesquisas na neurocognição, deu a todos nós a desculpa perfeita quando esquecemos algo...

<sup>67</sup> O mesmo artigo [http://en.wikipedia.org/wiki/Peter\\_Abelard](http://en.wikipedia.org/wiki/Peter_Abelard) que descreve os trabalhos filosóficos de Abelardo também fala de seu romance com Heloísa. Um exemplo de porque não é boa ideia namorar filósofo é o nome que eles deram ao filho, Astrolábio, uma espécie de GPS medieval (<http://en.wikipedia.org/wiki/Astrolabe>).

<sup>68</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Newspeak>. Na década de 1940, quando *1984* foi escrito, a ideia de que as características de uma linguagem podiam controlar a formação das ideias nas pessoas era muito conhecida nos meios científicos e intelectuais, principalmente os trabalhos de Benjamin Whorf (<http://www.mit.edu/~allanmc/whorf.scienceandlinguistics.pdf>). Nas décadas seguintes, os cientistas mostraram que muitas afirmações de Whorf eram exageradas. No entanto, os estudos atuais confirmam que há relações muito interessantes entre a língua que a pessoa fala e seu raciocínio (ver, por exemplo, <http://nautil.us/blog/5-languages-that-could-change-the-way-you-see-the-world>).

<sup>69</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Edward\\_Bernays](http://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Bernays).

<sup>70</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Spin\\_\(public\\_relations\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Spin_(public_relations))

exemplo: (i) destacar as (poucas) evidências favoráveis e ignorar as (muitas) desfavoráveis (*cherry picking*, na gíria inglesa); (ii) reconhecer que alguma coisa saiu errada, porém de maneira vaga, sem dizer o que (ou quem) foi responsável (*mistakes were made*, em inglês<sup>71</sup>); e (iii) eufemismos, que é substituir expressões com “conotação negativa” (em muitos casos, por serem precisas) por outras menos desagradáveis, porém mais vagas (um exemplo famoso de eufemismo vem da guerra do Vietnam, em que os pesados bombardeios americanos eram descritos pelo Pentágono como “contra ataques preventivos”).

---

<sup>71</sup> Para quem tiver interesse neste tema, recomendamos o livro *Mistakes Were Made (But Not by Me): Why We Justify Foolish Beliefs, Bad Decisions, and Hurtful Acts*.



## MEXER NO PREÇO: SE CORRER O BICHO PEGA, SE FICAR O BICHO COME

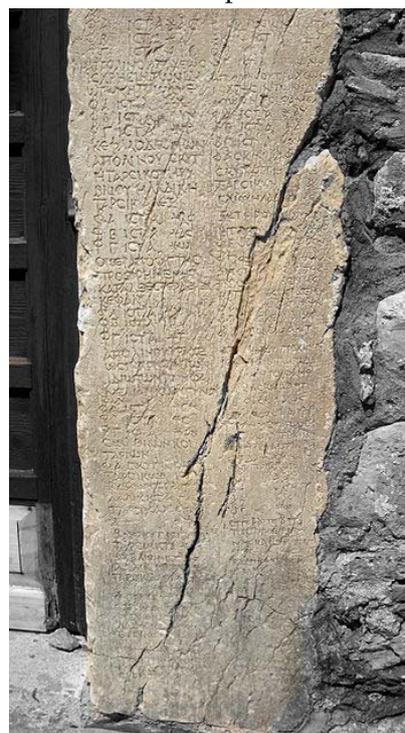
*“Price controls have never worked”*

Murray Rothbard<sup>72</sup>

*“The General Maximum Price Regulation [in the US] was put into effect in April of 1942, and it worked”.*

John Kenneth Galbraith<sup>73</sup>

Em uma edição anterior do ER, nós mostramos que a ideia de que o intercâmbio de diferentes produtos e serviços pode ser feito usando como referência um único parâmetro, o preço, acelerou extraordinariamente o desenvolvimento econômico das primeiras sociedades. No entanto, quase que simultaneamente com este conceito brilhante, apareceram outras ideias “criativas” que causaram muita confusão e sofrimento ao longo dos séculos. A primeira destas ideias heterodoxas foi imprimir dinheiro para resolver os problemas de caixa do governo. Um dos registros históricos mais antigos de que isto não dava muito certo é o do imperador romano Diocleciano, no ano 300, cuja cunhagem um tanto entusiasmada de moedas resultou em uma inflação galopante que quase destruiu o império<sup>74</sup>. Como se isto não bastasse, Diocleciano teve uma segunda ideia: controlar a inflação que ele havia causado através de limites nos preços. No ano 301, ele promulgou o Decreto de Preços Máximos<sup>75</sup>, que impunha “preços teto” para cerca de mil produtos, incluindo comida, roupas, tarifas de transporte e salários. Como os leitores podem imaginar, a alegria de Diocleciano durou pouco: já no ano 303, o Decreto havia sido abandonado. Ironicamente, este primeiro fracasso do controle de preços permitiu aos historiadores reconstituir, após 17 séculos, o que havia acontecido. A razão é que, como os decretos imperiais eram talhados em pedra, o material com as leis que “não pegavam” era reutilizado em construções. No caso dos preços máximos, a versão em grego do decreto faz parte de uma igreja medieval em Geraki, na Grécia (ver figura ao lado).



<sup>72</sup> M. Rothbard, “Price Controls are Back”, ch. 34 in: *Making Economic Sense* (Auburn, Alabama, Ludwig von Mises Institute). Citado em S. Laguerodie e F. Vergara, “The Theory of Price Controls ((Pigou, Keynes, Kalecky, Galbraith, Samuelson, etc.)”, *Review of Political Economy*, Outubro de 2008 (edição comemorativa do centenário de John Kenneth Galbraiths).

<sup>73</sup> J. K. Galbraith, *A Theory of Price Control*, Cambridge, Mass. & London, Harvard University Press, 1980, citado no mesmo artigo de Larodie e Vergara da nota de rodapé anterior.

<sup>74</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Diocletian>

<sup>75</sup> O decreto é efetivamente conhecido pelos historiadores como “preços máximos”, ou “decreto de Diocleciano”. O nome oficial do mesmo, em latim, é *Edictum De Pretiis Rerum Venalium* que, pode ser traduzido como Proclamação do preços de produtos à venda.

Cerca de trezentos anos depois, o profeta Maomé mostrou que havia aprendido com as besteiras de Diocleciano. Quando uma seca em Medina levou a um forte aumento nos preços dos alimentos, os cidadãos pediram que ele tabelasse os preços. Maomé, que havia sido comerciante e sabia que isto não ia funcionar, respondeu com um argumento definitivo: “Alá é o único que pode definir preços”<sup>76</sup>.

Passados 1.400 anos desde Maomé, o leitor poderia imaginar que, com os avanços da teoria econômica, a questão do controle governamental dos preços já estivesse resolvida. Em particular, a julgar pela profusão de insucessos no uso de limites de preço ao longo da história e das manifestações enfáticas dos economistas dos países mais desenvolvidos de que qualquer interferência nos preços é um tiro no pé, é interessante (e surpreendente) observar que diversos gigantes da teoria econômica liberal defenderam este tipo de ação. Por exemplo, Adam Smith, autor da imagem mais famosa da economia, a mão invisível do mercado, defendeu o tabelamento das taxas de juros<sup>77</sup>(!). Outro economista no panteão dos “livre mercadeiros”, Cecil Pigou, afirmou que: “A imposição, por parte do governo, de limites em determinados preços não é uma política condenada ao fracasso nem necessariamente fútil”<sup>78</sup>. Finalmente, John Kenneth Galbraith<sup>79</sup>, que controlou *todos* os preços dos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial (uma façanha de deixar a Gosplan soviética morrendo de inveja) e, com base nesta experiência, escreveu um livro sobre teoria econômica de controle de preços<sup>80</sup>, era muito respeitado pelo ultraliberal Milton Friedman<sup>81</sup>, autor do livro *Free to Choose*, e cuja influência é comparável à de Adam Smith.

Por que estes economistas lendários defenderiam uma quase heresia para o pensamento mais ortodoxo atual? Por um lado, como mostrado por Sylvia Nasar em seu livro *Grand Pursuit: The Story of Economic Genius*, eles eram mais pragmáticos e intelectualmente sofisticados do que sugerem atualmente suas imagens “oficiais”, buriladas por gerações de seguidores e hagiógrafos. Por outro lado, esta mesma sofisticação de pensamento os levou a propor um controle de preços bem diferente do tabelamento ao estilo Diocleciano. Em particular, todos estes grandes economistas acreditavam que:

O controle de preços, *por si só, não resolve problemas*. Este controle pode fazer parte de uma solução *temporária*, que permite ganhar tempo até que uma política *mais abrangente, e permanente*, seja implantada. Nas palavras do próprio Galbraith<sup>82</sup>: “Controle de preços não é toda a resposta, e sim parte de uma estratégia mais completa”.

<sup>76</sup> Citado no livro de John McMillan, *Reinventing the Bazaar: a natural history of markets*. A citação de Maomé é do Hadith, traduzida por Muhamet Yildez.

<sup>77</sup> A. Smith, *The Wealth of Nations*, The Glasgow Edition (Oxford, Clarendon Press), 1776, vol. 1, p. 357. O objetivo de Smith era impedir que as pessoas fossem induzidas a investir em projetos inviáveis e/ou fraudulentos que prometiam taxas de juros irrealisticamente altas: “Where the legal rate of interest, on the contrary, is fixed but a very little above the lowest market rate, sober people are universally preferred, as borrowers, to prodigals and projectors”.

<sup>78</sup> A. C. Pigou, *The Political Economy of War*, London, Macmillan, 1941, p. 118.

<sup>79</sup> Ver a segunda epígrafe deste texto.

<sup>80</sup> J. K. Galbraith, *A Theory of Price Control*, Cambridge, Mass. & London, Harvard University Press, 1980.

<sup>81</sup> Citado no artigo de Larodie e Vergara, ver nota de rodapé 1.

<sup>82</sup> J. K. Galbraith, Introdução à edição de 1980 do livro *A Theory of Price Control*, ver nota de rodapé 9.



## AS ÁGUAS VÃO (EN)ROLAR?

Na década de 1950 o jornal *Luta Democrática*<sup>83</sup> ficou famoso pelas manchetes que, à primeira vista, relatavam fatos espantosos (em geral, escabrosos), mas que na realidade eram bem mais prosaicos. Por exemplo, a manchete “Cachorro fez mal à moça” tratava de um cachorro- quente que causou indigestão, e virou um ícone literário, sendo citada até na Academia Brasileira de Letras<sup>84</sup>. O fundador do jornal, Tenório Cavalcanti, era tão espalhafatoso quanto as manchetes: sua marca registrada era uma capa preta e uma metralhadora chamada Lurdinha. (Ao lado, Tenório e o pôster de um filme sobre ele, com José Wilker.)



O noticiário recente sobre a “guerra das águas” entre Rio e São Paulo deixaria Tenório orgulhoso. A confusão começou quando a geradora estadual CESP, seguindo orientação do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de São Paulo, começou a liberar somente 10 m<sup>3</sup>/s do reservatório de Jaguari, ao invés dos 43 m<sup>3</sup>/s determinados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Esta desobediência levou a uma controvérsia entre os governos do Rio e São Paulo, bem como discussões sobre qual agência, ANEEL (energia elétrica) ou ANA (água), teria prioridade na determinação desta defluência. As primeiras manchetes sobre o imbróglio foram estilo *Armagedon* (ver figura ao lado, retirada da primeira página do jornal *O Globo* do dia 13 de agosto). O noticiário ficou ainda mais acirrado nos dias seguintes, com informações de que já estaria faltando água no Rio<sup>85</sup> e avisos de que o problema poderia ser levado para o nível presidencial<sup>86</sup>. Diante deste bate boca tão animado, a solução do problema, intermediada pela Ministra do Meio Ambiente, no dia 18 de agosto, foi quase um anticlímax: o governo de São Paulo concordou com a liberação de 43 m<sup>3</sup>/s e, em contrapartida, o Rio de Janeiro reduzirá em 5 m<sup>3</sup>/s sua demanda de água a partir de setembro.

**ONS prevê colapso no abastecimento de Rio e SP**

Dado que a festa midiática em torno do problema deve arrefecer, é importante analisar com serenidade o que aconteceu, pois é pouco crível que representantes governamentais de alto escalão tenham resolvido, a exemplo de Shakespeare, fazer muito barulho por nada.

<sup>83</sup> [http://pt.wikipedia.org/wiki/Luta\\_Democr%C3%A1tica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Luta_Democr%C3%A1tica)

<sup>84</sup> <http://neumann.com/novosite/seminario-de-jornalismo-e-literatura-na-abl-1-4/#.U-tHDPlDUmk>. Vale a pena ler, pois menciona outras obras primas como “Matou a mãe sem motivo justo” e a indescritível “Cortou o mal pela raiz”.

<sup>85</sup> <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,sem-agua-escola-de-barra-do-pirai-dispensa-alunos,1543373>

<sup>86</sup> <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,presidencia-podera-intervir-em-disputa-pela-agua-entre-rio-e-sp,1543376>



## O QUE É MAIS DIFÍCIL: PREVER VAZÕES OU “AQUELE” JOGO DO BRASIL?

*Que será, será, aquilo que for, será;  
O futuro não se vê, que será, será.*

Doris Day<sup>87</sup>

*É muito difícil fazer previsões,  
especialmente do futuro.*

Niels Bohr<sup>88</sup>

Preencher o álbum de figurinhas da Copa é uma atividade que faz a delícia das crianças, além de um número um tanto preocupante de adultos. Como sabem todos os pais, o grande tormento deste álbum são as figuras duplicadas à medida que ele é preenchido. Isto faz com que os pimpolhos incompetentes no “bafo”<sup>89</sup> pressionem os progenitores para comprar cada vez mais envelopes. Nesta Copa, no entanto, os pais receberam uma ajuda inesperada de especialistas em probabilidade e teoria de portfólio<sup>90</sup>. Inicialmente, os especialistas quantificaram o prejuízo das duplicações. Se não houvesse qualquer repetição, é fácil ver que seria necessário comprar 130 envelopes, razão entre o número de figuras no álbum (649) e em cada envelope (5). No entanto, simulações probabilísticas indicam que as figuras repetidas nos forçam a comprar, em média, nada menos do que 899 envelopes, um aumento de 600%! Em seguida, os especialistas mostraram que a teoria de portfólios permite mitigar a exploração: se, por exemplo, dez pessoas comprarem figurinhas em conjunto, o número de envelopes necessário para completar cada álbum cai para somente 144, perto do mínimo teórico de 130. Esta constatação levou à criação de fóruns de troca de figurinhas na Internet, para alegria dos pais, e tristeza da FIFA.

Outra atividade tradicional que teve uma infusão *high tech* nesta Copa foi o bolo esportivo. Em 2010, o grande destaque na previsão dos resultados foi o polvo Paul<sup>91</sup>. Além de acertar todos os sete jogos da Alemanha, incluindo o que ela perdeu para a Espanha (bons tempos...), Paul “cravou” o resultado da decisão Espanha × Holanda. Nesta Copa, no entanto, os cefalópodes futebolistas foram substituídos por modelos analíticos de previsão baseados em “big data”, simulação estocástica e outras modernidades<sup>92</sup>. Embora estes modelos tenham sido desenvolvidos por empresas conhecidas como Goldman Sachs, Wolfram<sup>93</sup>,



<sup>87</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Que\\_Sera,\\_Sera\\_\(Whatever\\_Will\\_Be,\\_Will\\_Be\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Que_Sera,_Sera_(Whatever_Will_Be,_Will_Be)).

<sup>88</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Niels\\_Bohr](http://en.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr).

<sup>89</sup> <http://oglobo.globo.com/sociedade/a-mania-das-figurinhas-do-album-da-copa-12597906>.

<sup>90</sup> <http://www.economist.com/blogs/economist-explains/2014/05/economist-explains-13>.

<sup>91</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Paul\\_the\\_Octopus](http://en.wikipedia.org/wiki/Paul_the_Octopus).

<sup>92</sup> <http://blogs.scientificamerican.com/observations/2014/06/11/world-cup-prediction-mathematics-explained/>

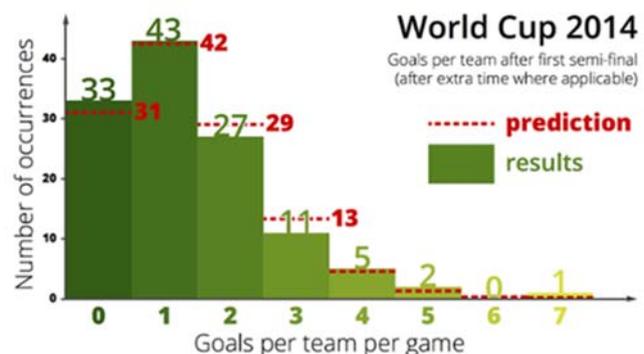
<sup>93</sup> O conhecido software científico *Mathematica* é da Wolfram. No melhor estilo *geek*, a equipe da Wolfram não só desenvolveu um modelo de previsão como distribuiu o código fonte <http://blog.wolfram.com/2014/06/20/predicting-who-will-win-the-world-cup-with-wolfram-language/>.

Microsoft<sup>94</sup> e Bloomberg, o Neymar dos modelos de previsão de futebol foi o Nate Silver, um estatístico que escrevia no New York Times, e que ficou famoso por acertar *todos* os resultados das *cinquenta* eleições para governador dos Estados Unidos em 2012; diante disto, ter cravado os votos eleitorais do Obama, como ele também fez, era até obrigação. (Para quem acha que foi sorte, em 2008 ele “só” acertou 49 dos 50 resultados de governador, além do presidente.)

Além da capacidade de previsão quase inacreditável, outro aspecto que chamou a atenção sobre o Nate Silver é que ele não faz *nenhuma* pesquisa eleitoral. O seu método é: (i) usar os resultados de todas as pesquisas publicadas na mídia para estimar os parâmetros de distribuições de probabilidade usadas por seu modelo matemático de eleições; (ii) fazer milhares de simulações do processo eleitoral com este modelo, onde a cada simulação há um sorteio aleatório dos parâmetros (este método é conhecido como simulação Monte Carlo); (iii) a probabilidade de o candidato X ganhar a eleição é estimada como a razão entre o número de simulações em que X foi o vencedor e o número total de simulações.

Como alguns leitores possivelmente perceberam, o método do Nate Silver é parecido com o procedimento de cálculo do risco de ocorrer aquilo-que-não-pode-ser-mencionado no sistema elétrico brasileiro: simulações probabilísticas da operação do sistema, em que a cada simulação se sorteia um cenário de vazões afluentes, seguido do cálculo do risco como a razão entre o número de simulações onde “aquilo” ocorreu e o número total de simulações. Será mostrado posteriormente que esta semelhança não é acidental, e será usada para ilustrar o uso de previsões de vazão na operação, que é o tema desta edição.

A fama de “profeta eleitoral” permitiu que o Nate Silver largasse o emprego e criasse seu próprio *site*<sup>95</sup>, onde ele e sua equipe fazem análises estatísticas e previsões sobre os assuntos mais variados. Um destes assuntos foi, evidentemente, a previsão dos resultados (ganhador e placar) dos jogos da Copa. O “coração” do modelo analítico do Nate Silver é um processo estocástico<sup>96</sup> que representa, a cada instante, a probabilidade de ocorrência de um gol. De maneira simplificada, o modelo sorteia, a cada minuto, se houve ou não um gol, e passa para o minuto seguinte. Assim como no caso das eleições, este processo é simulado milhares de vezes, e o resultado é a distribuição de probabilidade do número de gols da partida. A figura ao lado, que compara o histograma previsto e realizado do número de gols por partida para o conjunto de jogos da Copa, ilustra a capacidade surpreendente de previsão de um modelo tão simples.



O aparecimento de modelos matemáticos de previsão de jogos de futebol permitiu que, pela primeira vez, os *nerds* tivessem alguma chance nos bolos esportivos. No bolão da PSR, por exemplo, as apostas “científicas” lideraram em todas as rodadas, até o dia 8 de julho, em que nenhum modelo remotamente previu o que todos queremos esquecer. Isto levou a discussões animadas entre os “modeleiros” de futebol sobre a hipótese de independência entre os gols da distribuição de Poisson; a melhor maneira

<sup>94</sup> A Microsoft desenvolveu um sistema matemático de previsão para que o Cortana (equivalente ao Siri do iPhone) respondesse perguntas sobre os resultados dos jogos da Copa, aparentemente com sucesso [http://blogs.windows.com/windows\\_phone/b/windowsphone/archive/2014/07/13/bing-magic-helps-cortana-predict-the-winner-in-15-out-of-15-soccer-football-matches-in-brazil.aspx](http://blogs.windows.com/windows_phone/b/windowsphone/archive/2014/07/13/bing-magic-helps-cortana-predict-the-winner-in-15-out-of-15-soccer-football-matches-in-brazil.aspx).

<sup>95</sup> <http://fivethirtyeight.com/>; o nome vem do número de membros do Colégio Eleitoral que elege o presidente dos EUA.

<sup>96</sup> Para nossos leitores estatísticos, é um processo de Poisson.

de representar a “cauda” da distribuição de probabilidade (para eventos extremos); e assim por diante. No entanto, a imensa maioria das pessoas normais tem uma explicação muito mais simples para o naufrágio dos modelos<sup>97</sup>: as tentativas de Nate Silver e companhia estavam fadadas ao fracasso desde o início, pois os métodos estatísticos são aplicáveis somente a fenômenos naturais, e não são capazes de representar o efeito da garra, paixão do torcedor etc. que definem um esporte<sup>98</sup>.

Curiosamente, esta afirmação de que a previsão esportiva, ou outras atividades humanas, seria mais difícil do que a da natureza, já havia sido contestada em 2013 pelo próprio Nate Silver, em seu brilhante livro “O Sinal e o Ruído”. O livro analisa diversas áreas em que modelos matemáticos foram aplicados, em ordem crescente de dificuldade. Ao contrário do que se imagina, ele mostra que os jogos de pôquer são os mais fáceis de tratar analiticamente<sup>99</sup>, e que o mais difícil, disparado, é a modelagem de chuvas e vazões. As razões para que a modelagem da natureza seja a mais difícil de todas (o que responde à pergunta do título desta seção) serão discutidas a seguir<sup>100</sup>.

the signal and the noise and the noise and the noise and the noise why most noise predictions fail but some don't and the noise and the noise and the noise nate silver noise noise and the no

### Previsão de fenômenos naturais

Na maior parte de sua história, os seres humanos achavam que deuses variados causavam erupções vulcânicas, secas e outros fenômenos aterrorizantes. Portanto, a estratégia de agradar estas divindades fazia todo o sentido. No caso de vulcões, por exemplo, os filmes de Hollywood nos ensinam que jogar uma virgem na cratera é uma solução tiro e queda (sem trocadilho). No entanto, as evidências de que, de fato, isto era feito, são escassas<sup>101</sup>.



O que se tem documentado é jogar oferendas, como alimentos ou presentes. Por exemplo, desde o século 15 as pessoas na vizinhança do vulcão Bromo, na Indonésia (acima), jogam roupas, galinhas e joias na cratera, com o objetivo de evitar erupções. Curiosamente, estas oferendas não parecem funcionar muito bem, pois o vulcão explodiu em 2004, 2010 e 2011. Uma possível explicação é que os deuses perceberam que várias pessoas um tanto mais racionais se escondem na cratera do vulcão para recolher, com redes, as oferendas dos devotos (figura ao lado).



A cidade de Nápoles, à beira do Vesúvio, encontrou uma maneira brilhante de evitar trambiqueiros de pouca fé como os de Bromo. Em 1527, os habitantes da cidade assinaram um *contrato de prestação de serviços* com San Gennaro<sup>102</sup>, um bispo da cidade que havia morrido no ano 305. Em troca de proteção contra vulcões e pestes (serviço completo), os habitantes se

<sup>97</sup> Ver, por exemplo, <http://www.newstatesman.com/future-proof/2014/07/football-all-easier-love-or-hate-because-it-unquantifiable>.

<sup>98</sup> A tímida objeção de que, antes de prever eleições, o Nate Silver era conhecido por ótimas previsões de resultados de beisebol, certamente terá como réplica fulminante que beisebol não é esporte...

<sup>99</sup> O livro de William Poundstone, *Fortune's Formula: The Untold Story of the Scientific Betting System That Beat the Casinos and Wall Street*, New York: Hill and Wang, 2005, descreve os modelos analíticos (bem sucedidos!) para jogatina de vários cientistas famosos, com destaque para Claude Shannon, o criador da teoria matemática da informação, que é a base de todos os sistemas de telecomunicações de Internet.

<sup>100</sup> Para os leitores que quiserem se deprimir com a natureza humana, recomendamos os seguintes livros: *Rock Breaks Scissors: A Practical Guide to Outguessing and Outwitting Almost Everybody*, de William Poundstone, que mostra como o ser humano é previsível; *Predictably Irrational: The Hidden Forces That Shape Our Decisions*, de Dan Ariely, que demonstra de maneira muito divertida que, além de previsíveis, somos idiotas; e *Why Society is a Complex Matter*, de Philip Ball, que amplia a previsibilidade de indivíduos para grupos e sociedades.

<sup>101</sup> <http://www.straightdope.com/columns/read/3093/have-virgins-ever-been-tossed-into-volcanoes-to-appease-the-gods>

<sup>102</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/San\\_Gennaro](http://en.wikipedia.org/wiki/San_Gennaro).

comprometiam a depositar pagamentos para o santo. Este contrato é administrado por uma instituição leiga, conhecida como Deputação, criada em 1601, e que existe até hoje (um exemplo de respeito a contratos que merece ser divulgado). Os pagamentos vão para a Capela do Tesouro de San Gennaro. Como podemos observar pela riqueza no cartaz ao lado, de uma exposição que está ocorrendo em Paris, os serviços do santo parecem ser bastante satisfatórios.



A partir do século 17, com Isaac Newton, os caprichos dos deuses foram substituídos pelas leis da natureza, representadas por sistemas de equações. Uma vez conhecidos os parâmetros das equações, e as chamadas condições iniciais (por exemplo, a posição dos planetas hoje), a evolução da natureza ao longo do tempo (no mesmo exemplo, o movimento dos planetas) poderia ser calculada com precisão. Em outras palavras, a ciência tornou a natureza tão *previsível* como o mecanismo de um relógio, e a expressão “universo de relojoaria” (*clockwork universe*) passou a ser a metáfora da época. Em 1814, o físico francês Simon de Laplace explicitou o papel fundamental do universo de relojoaria com um texto que ficou famoso: “Uma inteligência que pode compreender todas as forças que animam a natureza e a respectiva situação dos seres que estão nela – uma inteligência vasta o suficiente para analisar todos estes dados [...] Para esta inteligência, nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, estaria à frente de seus olhos”<sup>103</sup>. Evidentemente, Laplace e todos os cientistas entendiam que, na vida real, pode não ser possível resolver exatamente as equações, seja por limitações computacionais, seja por imprecisões ou desconhecimento dos dados. No entanto, havia a certeza que, *em princípio*, era possível prever o comportamento da natureza com exatidão total.

O sucesso estrondoso dos métodos científicos de 1800 até hoje – basta citar a revolução da eletricidade, com Faraday e Maxwell, em meados do século 19 – reforçou a convicção de que o universo de relojoaria era verdadeiro. Uma das últimas, e mais importantes, fronteiras a ser conquistada foi a previsão meteorológica. Embora as equações diferenciais (dinâmica dos fluidos) que representam o comportamento da atmosfera fossem conhecidas há séculos, somente em 1911 o físico Lewis Fry Richardson propôs um método numérico de solução das mesmas. No entanto, o esforço computacional estava além da capacidade humana<sup>104</sup>. O desenvolvimento de computadores durante a Segunda Guerra Mundial finalmente permitiu que estes cálculos fossem feitos, juntamente com o uso de uma quantidade muito maior de dados. A aplicação inicial destas novas técnicas não poderia ser mais dramática: a previsão do tempo para decidir a invasão da Normandia, em junho de 1944<sup>105</sup>. Com o fim da Segunda Guerra, a previsão numérica do tempo passou rapidamente para o dia a dia das pessoas; e com a universalização da televisão, a partir de meados da década de 1960, os meteorologistas se transformaram nos oráculos modernos, informando com confiança se choveria, nevaria, faria sol etc. nos próximos dias. No entanto,

Mal sabiam eles que um meteorologista do MIT demonstraria que o universo de relojoaria era uma ilusão; e que, em particular, é intrinsecamente impossível prever o clima com exatidão.

<sup>103</sup> P.S.Laplace, *Théorie Analytique des Probabilités*. A “inteligência” a que se refere Laplace é, hoje em dia, mais conhecida como “demônio de Laplace” [http://en.wikipedia.org/wiki/Laplace's\\_demon](http://en.wikipedia.org/wiki/Laplace's_demon).

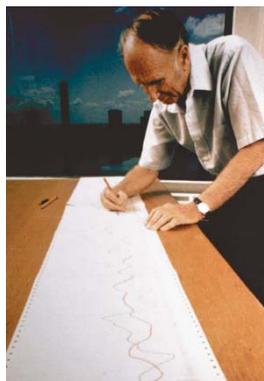
<sup>104</sup> Mais precisamente, deveríamos dizer que o cálculo estava *quase* além da capacidade humana. Em um episódio lendário, Fry resolveu à mão, em 1910, as equações para prever (retrospectivamente) o tempo às 13 horas do dia 20 de maio de 1910, partindo das informações das 7 da manhã. O cálculo levou semanas, e foi feito nas trincheiras da França, sob constante bombardeio dos alemães (ele era motorista de ambulância na Primeira Guerra Mundial). As atividades de Fry foram muito além da meteorologia, para quem tiver interesse, veja [http://en.wikipedia.org/wiki/Lewis\\_Fry\\_Richardson](http://en.wikipedia.org/wiki/Lewis_Fry_Richardson).

<sup>105</sup> <https://medium.com/history-and-politics/the-weather-on-d-day-85ea0491a14f>

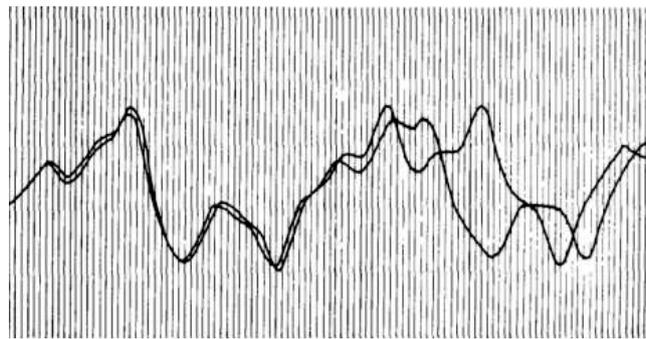
### A descoberta acidental do caos<sup>106</sup>

Edward Lorenz era matemático, serviu como meteorologista na Segunda Guerra e, após terminar seu doutorado em meteorologia, foi contratado como professor do MIT em 1955. Sua área de pesquisa era justamente a solução das equações diferenciais desenvolvida por Lewis Fry durante a Primeira Guerra. Lorenz tinha um computador com 4 Kilobytes de memória, um dos mais rápidos da época (e um milhão de vezes mais lento do que um laptop moderno). Como consequência, só conseguia resolver um modelo dinâmico simplificado, com 12 variáveis. Para economizar memória, Lorenz resolvia as equações para um período de 24 horas, imprimia todos os resultados, apagava a memória das primeiras 23 horas, e usava os resultados armazenados da última hora como condição inicial para a próxima simulação, e assim por diante. Em um determinado dia, Lorenz decidiu refazer uma das simulações, para imprimir mais detalhes. Como a informação interna das condições iniciais já havia sido apagada, Lorenz colocou à mão esta informação. O único detalhe é que, na impressão, os valores haviam sido arredondados para três casas decimais, enquanto a representação interna dos mesmos, na simulação original, era mais precisa. Lorenz tinha consciência desta diferença nas condições iniciais. Porém, como qualquer cientista até então, ele achava que esta pequena diferença resultaria em também pequenos desvios nos resultados (lembrem que as simulações eram determinísticas, isto é, não havia qualquer sorteio de variáveis aleatórias).

No entanto, ocorreu o oposto do esperado: o resultado da nova simulação foi completamente diferente



da anterior. A foto à esquerda mostra Lorenz com o gráfico das duas simulações; à direita, um detalhe do mesmo, onde se vê a divergência acentuada. Após vários meses de verificações e análises, Lorenz de-



monstrou que esta *sensibilidade às condições iniciais*, que é a propriedade básica

do que passou a ser conhecido como *caos*, era uma característica intrínseca de praticamente todos os processos representados por equações diferenciais – o que, na prática, significa a maioria esmagadora dos processos naturais, a começar pela meteorologia<sup>107</sup>. Embora Lorenz tenha publicado os resultados poucos meses depois, passou-se algum tempo até “cair a ficha” da maioria dos cientistas de que o universo de relojoaria era uma ilusão. Em 1972, Lorenz deu uma palestra intitulada “Previsibilidade: A batida de asas de uma borboleta no Brasil pode causar um tornado no Texas?”. A metáfora “pegou” imediatamente, e a sensibilidade às condições iniciais passou a ser conhecida como “efeito borboleta”.

<sup>106</sup> O texto a seguir foi baseado no artigo *Chaos at fifty*, por Adilson E. Motter & David K. Campbell, *Phys. Today* 66(5), 27 (2013). Para quem tiver interesse no tema, recomendamos o livro *Chaos*, de James Gleick.

<sup>107</sup> Por exemplo, mesmo a órbita dos planetas, que era o carro chefe do universo relógio, é na verdade caótica, só que numa escala de tempo muito maior. Isto significa, por exemplo, que é possível que a Terra, daqui a muitos e muitos milhões de anos, saia da órbita atual e vire um planeta sem sol. (Aliás, pesquisas astronômicas recentes sugerem que estes planetas “órfãos” são mais numerosos do que os que estão em sistemas solares, mas não temos ainda instrumentos para detectá-los.)

Apos o vencimento haverá multa de 2% e juros, cobrados e conta por ANEEL nº 456 de 29 de novembro de 2000 e Lei 10.762 de 11/11/2003)

Valor da Energia 1.235,59	Valor da Transmissão 114,79	Valor da Distribuição 354,47	Tributos 1.439,64	Total 3.986,83
Tarifas em R\$/KWh sem impostos: 0,27316				
	ICMS R\$	Total da Nota	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR R\$
Base de Cálculo	3.986,83		01/01/2015	50.000.000.000,00
Aliquota	30%			
Valor (já incluído no preço)	1.196,05			



## NOEL ROSA E A CONTA DO SETOR ELÉTRICO EM 2014 E 2015

*Os inteligentes aprendem com os próprios erros;  
os sábios, com os erros dos outros.*

Otto von Bismarck

*A crítica não é agradável, mas é necessária;  
ela tem a mesma função que a dor em nosso corpo,  
que é alertar para uma situação pouco saudável.*

Winston Churchill

O genial compositor Noel Rosa é provavelmente o melhor letrista da música brasileira<sup>108</sup>. Passados quase oitenta anos (ele morreu em 1937, aos 26 anos), todos conhecemos (e muitos sabemos cantar) composições como *Com que Roupa*, *Gago Apaixonado*, *Feitiço da Vila* e muitas mais<sup>109</sup>. Uma das músicas mais conhecidas de Noel, e possivelmente uma de suas letras mais perfeitas, é *Conversa de Botequim*, aquela que começa: “Seu garçom, faça o favor de me trazer depressa / Uma boa média que não seja requentada...”<sup>110</sup>. A letra continua com uma sequência hilariante de pedidos cada vez mais abusados do freguês: material para escrever, cigarro e isqueiro, guarda-chuva, revistas, dinheiro emprestado, e termina com o apoteótico “cano” no botequim: *Vá dizer ao seu gerente / Que pendure esta despesa / No cabide ali em frente.* (A estátua ao lado, na entrada de Vila Isabel, onde Noel viveu, mostra o abnegado garçom servindo Noel Rosa).



Como sabem os leitores habituais do ER, nossas digressões histórico-literárias sempre acabam no setor elétrico. Neste caso, imaginamos o freguês da música frequentando um “botequim elétrico”. De cara, haveria com frequência crescente um “apagão de garçom”, e o freguês não seria atendido<sup>111</sup>. Além disto, o gerente do botequim estaria em uma “saia justa”, pois não estocou café suficiente, e agora o preço no

<sup>108</sup> O único compositor/letrista que chega perto de Noel é Chico Buarque, não por acaso um grande admirador dele. O editor do ER, movido pela inveja que todos os homens têm de Chico, ressalva – mesquinhamente – que Mr. Buarque é responsável pela segunda pior rima da história da MPB, na música *Folhetim*: “Mas na manhã seguinte, não conte até vinte”. Por uma questão de honestidade, o editor também reconhece que a continuação perfeita da letra (quase) o redime: “pois já não vales nada / és página virada / descartada / do meu folhetim”. Para quem está curioso, a pior rima da história é de Vinicius de Moraes, outro letrista em geral fantástico. Na música *Chega de Saudade*, ele rima “peixinhos” com “beijinhos”, esta não tem atenuante...

<sup>109</sup> A capacidade de produção de Noel é difícil de acreditar: dos 19 aos 26 anos ele compôs 259 músicas, a imensa maioria excelente.

<sup>110</sup> A letra completa é: Seu garçom, faça o favor de me trazer depressa / Uma boa média que não seja requentada / Um pão bem quente com manteiga à beça / Um guardanapo e um copo d'água bem gelada / Feche a porta da direita com muito cuidado / Que não estou disposto a ficar exposto ao sol / Vá perguntar ao seu freguês do lado / Qual foi o resultado do futebol / Se você ficar limpando a mesa / Não me levanto nem pago a despesa / Vá pedir ao seu patrão / Uma caneta, um tinteiro / Um envelope e um cartão / Não se esqueça de me dar palitos / E um cigarro pra espantar mosquitos / Vá dizer ao charuteiro / Que me empreste umas revistas / Um isqueiro e um cinzeiro/ (repete Seu garçom..) / Telefone ao menos uma vez / Para três quatro, quatro, três, três, três / E ordene ao seu Osório / Que me mande um guarda-chuva / Aqui pro nosso escritório / Seu garçom me empresta algum dinheiro / Que eu deixei o meu com o bicheiro / Vá dizer ao seu gerente / Que pendure esta despesa / No cabide ali em frente. Gravação original de Noel: <http://youtu.be/in9W6vHyl5k>. Versão de Chico Buarque, em <http://youtu.be/uM4WP5eGPBw>.

<sup>111</sup> Apesar de todas as evidências que a frequência e a duração das falhas do garçom têm aumentado, o gerente insistirá de que o sistema de atendimento do botequim é dos melhores do mundo.

varejo, devido a uma seca, está nas alturas. Para poupar o freguês de pagar uma conta maior, o gerente tenta, inicialmente, rachar os custos do cafezinho com o cozinheiro e o garçom. Porém, isto não é suficiente, e o gerente é obrigado a pedir um empréstimo à mãe do freguês (que é viúva). Só que a situação volta a piorar, e como a viúva já não tem dinheiro, o gerente pede que a moça do caixa tome um empréstimo no banco, com a garantia que, ano que vem, aumentaria o preço do cafezinho.

No final da estória, o freguês sairá do botequim elétrico sem saber que, ao invés de “pendurar” a conta, ele foi “espetado” com uma dívida bilionária, que terá que pagar a partir de 2015.



## ENASE 2014: O SETOR ELÉTRICO EM SEU LABIRINTO

A PSR ficou muito honrada com mais um convite para preparar um resumo comentado do Encontro Nacional de Agentes do Setor Elétrico (ENASE), em sua 11ª edição, realizada em 2014. O título que escolhemos é inspirado no livro *El General en su Laberinto*, do genial escritor colombiano Gabriel Garcia Marquez. A história se passa em 1830, pouco após Simon Bolívar, o grande prócer da independência sul-americana, ter sido forçado a renunciar à presidência da república Grande Colômbia<sup>112</sup>, em meio a manifestações hostis da população que ele havia libertado. O labirinto do título vem das reflexões de Bolívar, durante sua última viagem (ver o mapa), sobre o que havia dado errado: decisões que se revelaram equivocadas, mudanças de rumo que pioraram a situação, enfim, todo o complexo processo de busca de um caminho para a realização de seu sonho. Guardadas as (grandes e) devidas proporções, a PSR acredita que muitos participantes do ENASE têm feito reflexões semelhantes às de Bolívar: como foi que um setor que, até 2012, era referência de eficácia, autonomia e governança para as demais áreas de infraestrutura, se transformou abruptamente em foco de preocupação de consumidores, investidores e do próprio governo (reversão da redução tarifária, impacto inflacionário etc.)?



Outro labirinto relacionado com a situação atual do setor é o da lenda do Minotauro. Este labirinto foi construído por Dédalo, uma espécie de professor Pardal da época, por encomenda do rei Mínos<sup>113</sup>, de Creta (a moeda ao lado, de 400 A.C., mostra uma versão estilizada do labirinto)<sup>114</sup>. O Minotauro não era muito popular entre os cretenses devido a sua dieta Dr. Atkins, que requeria o sacrifício de dois jovens por mês. Porém, matar o monstro era complicado porque o candidato a justiceiro não conseguiria sair do labirinto. Quem resolveu o problema foi Ariadne, filha de Mínos. Ela instruiu Teseu, um herói grego por quem era apaixonada, a usar um barbante amarrado na entrada do labirinto para reconstituir o caminho de volta<sup>115</sup>.



<sup>112</sup> A república Grande Colômbia, fundada por Bolívar, existiu de 1819 a 1831. Seu território abrangia o que são hoje a Colômbia, Venezuela, Equador, Panamá, norte do Perú, oeste da Guiana e noroeste do Brasil.

<sup>113</sup> O Minotauro resultou de uma “pulada de cerca” da esposa de Mínos com um touro. Este tipo de saliência transgênica (deuses e deusas viram cisnes, cavalos, touros etc.) era bastante comum na mitologia grega. No caso do Mínos, um castigo extra foi ser literal a denominação popular que se dá a maridos traídos.

<sup>114</sup> Como “recompensa” pelo excelente trabalho, Mínos prendeu Dédalo em uma cela que dava para um precipício. Dédalo fugiu construindo asas mecânicas para ele e para o filho Ícaro, o tal que acabou despencando no mar porque voou tão alto que o calor do sol derreteu a cera que colava as penas. O editor do ER sempre achou um certo “tiro no pé” empresas aéreas como a Varig usarem como símbolo Ícaro, que se esborrachou por imprudência, ao invés de Dédalo, que voou direitinho.

<sup>115</sup> O que Ariadne não sabia era que seu amado Teseu não prestava. Ele a abandonou em Creta, e saiu pelo mundo arranjando confusão, por exemplo, raptando a jovem Helena (a mesma que causou posteriormente a guerra de Tróia, discutida na edição de abril do Energy Report) e tentando – tremenda burrice - raptar Perséfone, esposa de Hades, o deus dos mortos.



## SETOR ELÉTRICO PÓS-VERÃO: A ODISSEIA CONTINUA?

*Procure a verdade a partir dos fatos*

Deng Xiaoping<sup>116</sup>

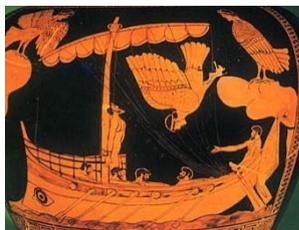
*Os governos agem de maneira sensata, mas só depois de esgotar todas as outras opções*

Abba Eban<sup>117</sup>

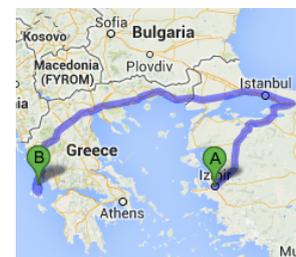
A popular série de TV *Game of Thrones* (GoT) se destaca pela complexidade da trama, que envolve lutas políticas e centenas de personagens, acompanhadas por muita pancadaria e certa escassez de vestuário. Para os leitores, digamos, *vintage*, do ER, esta série lembra o poema épico *Ilíada*, composto há quase três mil anos, que relata o ataque de uma coalização de reinos gregos à cidade de Tróia<sup>118</sup>. Assim como GoT, a *Ilíada* tem personagens



fortões como Aquiles e Heitor e *femmes fatales* como Helena, que causou toda a confusão ao trocar o rei grego Menelau por Páris, uma espécie de “personal trainer” da época. Além destas semelhanças mais imediatas, ambas as séries têm outro ponto em comum: um único personagem inteligente. Em GoT, o “com QI” é o anão Tyrion Lannister. Na *Ilíada*, por sua vez, quem tem neurônios é Ulisses (o sujeito amarrado no mastro do navio, em um vaso de 480 A.C.). Como sabe quem leu o poema (ou, sejamos sinceros, não leu, mas viu o filme *Tróia*), o Cavalo de Tróia bolado por Ulisses decidiu uma guerra que se arrastava há dez anos. Depois das tarefas de praxe após uma guerra (incendiar a cidade, matar todos os homens, saquear os tesouros etc.) Ulisses decidiu voltar para casa, na ilha grega de Ítaca.



Surpreendentemente, a cidade de Tróia de fato existiu. Portanto, dá para saber a distância que Ulisses teria que viajar: 1.600 quilômetros, uma viagem de carro de 24 horas, de acordo com o Google Earth (Tróia é perto de Izmir, na Turquia). Infelizmente, as viagens na época eram “padrão Infraero”, e Ulisses levou *dez anos* para fazer o percurso. Quem lucrou com isto foi Homero, que fez outro



<sup>116</sup> Deng Xiaoping é o lendário líder chinês que fez a reforma econômica do país após Mao Tsé-Tung. De acordo com a Wikipedia ([http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_Chinese\\_quotations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Chinese_quotations)) a frase da epígrafe era de Mao, mas só foi efetivamente utilizada na época de Deng. O verbete continua com a explicação da mesma: “This is a slogan referring to pragmatism. Beginning in the late 1970s, it was promoted by Deng Xiaoping and is a part of the official ideology of Socialism with Chinese characteristics. The phrase means to look for economic and political solutions that have practical application rather than those based on political ideology.”

<sup>117</sup> Abba Eban é outro personagem lendário, um dos fundadores de Israel e, por muitos anos, Ministro de Relações Exteriores daquele país ([http://en.wikiquote.org/wiki/Abba\\_Eban](http://en.wikiquote.org/wiki/Abba_Eban)). A citação da epígrafe é com frequência – porém incorretamente – atribuída ao primeiro ministro inglês Winston Churchill, referindo-se aos americanos (*Americans will always do the right thing — after exhausting all the alternatives*). (ver <http://quoteinvestigator.com/2012/11/11/exhaust-alternatives/>)

<sup>118</sup> O nome *Ilíada* vem do fato de a cidade de Tróia também ser conhecida como Ilium.

poema épico chamado Odisseia (o nome vem do fato de Ulisses também ser conhecido como Odisseu) contando as peripécias de Ulisses<sup>119</sup>.

Cada capítulo da Odisseia descreve um episódio da viagem de Ulisses. Alguns destes episódios, como o das sereias cujo canto fazia com que os marinheiros jogassem os navios nos rochedos, ou o dos monstros caolhos chamados Ciclopes, são bem conhecidos. Um episódio menos conhecido, mas que curiosamente está relacionado com a decisão de decretar um racionamento, é o de *Scylla e Charibdis*. Neste episódio, o barco de Ulisses tem que passar por um estreito<sup>120</sup> guardado por dois monstros: à esquerda Scylla, um dragão com seis cabeças; e à direita Charibdis, um baita rodamoinho.



O dilema de Ulisses é que não dava para escapar de ambos os monstros; portanto, ele tinha que *escolher* qual dos dois ia pegar o navio. Este episódio ficou famoso na comunidade de otimização porque é o primeiro caso registrado na história de *decisão sob incerteza*. A razão é que, se ele escolhesse passar perto de Scylla, perderia *com certeza* seis pessoas (uma para cada cabeça). No caso de Charibdis, ele *poderia* perder todo o barco, com umas cem pessoas, o que seria uma catástrofe; mas poderia também se safar. Ulisses decidiu então se aconselhar com a feiticeira/deusa Circe, cuja recomendação foi de passar por Scylla (e com isto sacrificar seis tripulantes) porque esta perda seria menor do que arriscar perder todo mundo. Ulisses seguiu o conselho de Circe e passou pelo estreito preservando a maior parte da tripulação. Devido às características de escolha sob incerteza e a lógica de minimizar o máximo prejuízo, Scylla e Charibdis é, até hoje, um ícone deste tipo de problema<sup>121</sup>.

<sup>119</sup> Na opinião de muita gente, inclusive o redator do ER, a Odisseia é um livro mais interessante do que a Ilíada, justamente porque Ulisses é um personagem muito inteligente e complexo. Para quem tiver interesse, recomendamos o livro de Zachary Mason, *The Lost Books of the Odyssey*, Farrar, Straus & Giroux, 2010. O autor é um gênio de computação, e escreveu 44 estórias curtas com variações de episódios da Odisseia. O livro foi muito elogiado, ver por exemplo a resenha em <http://www.nytimes.com/2010/02/14/books/review/Mansbach-t.html?pagewanted=all&r=0>

<sup>120</sup> Na vida real, o estreito de Messina, entre a Sicília e a Itália.

<sup>121</sup> Um exemplo recente é o artigo *Averting Catastrophes: The Strange Economics of Scylla and Charybdis*, por Ian Martin e Robert S. Pindyck, de abril de 2014.



## ARISTÓTELES E A CONTROVÉRSIA SOBRE RISCO DE RACIONAMENTO

*Não aceite a palavra de autoridades*<sup>122</sup>

Lema da *Royal Society*, a academia de ciências inglesa.

O governo divulgou recentemente resultados de simulações computacionais que respaldariam sua (reiterada) afirmação de que não há qualquer risco de racionamento<sup>123</sup>, em contraste com a preocupação crescente da grande maioria dos agentes do setor elétrico<sup>124</sup>. Se confirmados, os números do governo refutariam as estimativas da PSR de que há, atualmente, um risco substancial de racionamento. Dado que as análises da PSR também foram extraídas de simulações computacionais com dados produzidos pelo próprio governo, o leitor não especialista, já traumatizado pela enxurrada de avaliações díspares do governo e do mercado sobre o desempenho da economia, teria razões para temer um novo “campeonato de números” cujo resultado, com frequência, é o antigo bordão do Chacrinha: “Eu vim para confundir, não para explicar”. A primeira pergunta, portanto, é: como o público pode avaliar por si mesmo os argumentos sobre um assunto técnico complexo como o risco de racionamento?

Uma excelente resposta a esta pergunta foi dada por Aristóteles, há cerca de 2.400 anos. Como sabem nossos eruditos leitores (ou os que, como os redatores do ER, acabaram de consultar a Wikipedia<sup>125</sup>), houve na ocasião um “quebra pau” entre o trio Sócrates, Platão e Aristóteles, de um lado; e os chamados *Sofistas*, do outro. O trio criticava os sofistas por desmoralizar a *retórica* (conjunto de argumentos usados no debate público sobre um determinado assunto) usando raciocínios falaciosos (isto é, sofismas) e, de quebra, apelos baratos à emoção. Aristóteles, em seu texto *Retórica*, propôs um “*extreme makeover*” deste processo de debate público, com ênfase na lógica e racionalidade em geral.

De acordo com Aristóteles, o público pode avaliar os argumentos feitos por diferentes pessoas através da análise de três atributos: *ethos*, *pathos* e *logos*. O *ethos* se refere às credenciais (credibilidade) de quem está argumentando. Em nossa opinião, o requisito de *ethos* é plenamente atendido tanto pela equipe técnica da PSR<sup>126</sup> como do governo (ONS, EPE, Cepel e MME). As equipes técnicas do governo respaldam os ministros, que em geral não são, nem precisam ser, especialistas nestes temas.

<sup>122</sup> A *Royal Society* foi fundada em 1660 (Isaac Newton foi um de seus presidentes) e até hoje é uma das mais importantes instituições científicas do mundo. O seu lema, em latim, é *Nullius in verba*. De acordo com o site da sociedade, [*Nullius in verba*] roughly translates as 'take nobody's word for it'. It is an expression of the determination of Fellows to withstand the domination of authority and to verify all statements by an appeal to facts determined by experiment.

<sup>123</sup> CMSE: abastecimento elétrico está garantido

([http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista\\_destaque/destaque\\_999063.html](http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista_destaque/destaque_999063.html)), 18/02/2014, O país tomou medidas para evitar um novo apagão? Sim, M. Tolmasquim, Folha de São Paulo, 15/02/2014

(<http://www1.folha.uol.com.br/opiniao/2014/02/1412579-o-pais-tomou-medidas-para-evitar-um-novo-apagao-sim.shtml>), Simulações com NEWAVE PMO de Março de 2014

([http://www.ons.com.br/download/agentes/pmo/APRESENTA%C3%87%C3%95ES\\_PMO\\_201403.zip](http://www.ons.com.br/download/agentes/pmo/APRESENTA%C3%87%C3%95ES_PMO_201403.zip)) .

<sup>124</sup> Notícia do jornal O Globo de 7 de março: Um grupo de 15 associações do setor elétrico — que inclui representantes dos segmentos de geração, comercialização e transmissão, além de grandes consumidores — entregou nesta quinta-feira uma carta ao ministro de Minas e Energia, Edison Lobão, na qual alertam que a “situação é delicada”.

<sup>125</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Rhetoric\\_\(Aristotle\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Rhetoric_(Aristotle))

<sup>126</sup> Dado que ninguém lê notas de rodapé, aproveitamos para (imodestamente) mencionar que a PSR tem uma equipe de 45 especialistas (14 com doutorado e 22 com mestrado) e atua em mais de 60 países de todos os continentes. Para estudos no

Por sua vez, o *pathos* se refere à capacidade de estabelecer um *vínculo* (isto é, *empatia*) com a plateia. É importante observar que este vínculo não está relacionado com a manipulação de emoções (crítica do trio de filósofos aos sofistas) e sim com a capacidade de apresentar os argumentos de maneira que a plateia possa entendê-los. Em geral, técnicos governamentais de qualquer país não se dão muito bem neste quesito, pois escrevem em “engenheirês”. Pegando carona na imagem memorável da revista *Economist* sobre o programa de governo de Mitt Romney<sup>127</sup>, ler relatórios técnicos de governo é tão interessante quanto ler *Cinquenta Tons de Cinza* sem os trechos, digamos, animados<sup>128</sup>.

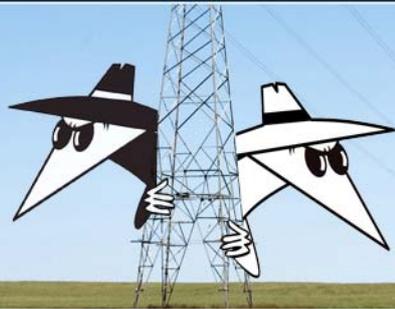
Embora a PSR procure “caprichar” no *pathos* quando escrevemos o ER, explicando os problemas e as metodologias de maneira clara e simples (mas não simplista), sabemos que o que realmente importa é a *qualidade técnica* dos argumentos. No texto de Aristóteles, esta “sustança” técnica é o *logos* (não por acaso, da mesma etimologia de “lógica”). O entendimento do *logos* dos cálculos do governo e da PSR requer alguma atenção (e paciência) de nossos leitores; a boa notícia é que não é necessário conhecimento especializado.

---

Brasil, contamos com o ex-coordenador do planejamento da expansão do país (GCPS); com os responsáveis pelo software de análise de redes de transmissão e pela metodologia de otimização operativa usados oficialmente pelo ONS e por todos os agentes; e com especialistas renomados em regulação, tarifas, estudos operativos & de planejamento, e hidrologia. Além de assessorar a maior parte dos investidores em eletricidade e gás do país, a PSR colaborou diretamente com o primeiro escalão do governo na gerência do racionamento e nas propostas de ajuste do primeiro modelo setorial, em 2001-2002; na elaboração do novo modelo do setor elétrico em 2003-2004; e nas propostas de redução das tarifas em 2012. Na área acadêmica, as premiações de nossa equipe incluem, dentre outras, a Medalha Nacional do Mérito Científico; o prêmio mundial de *Best Young Investigator* e um *Fellowship* do IEEE; e membros (eleitos) da Academia Brasileira de Ciências e Academia Nacional de Engenharia.

<sup>127</sup> *The Economist* de 25 de agosto de 2012: “The Romney Programme for Economic Recovery, Growth and Jobs is like Fifty Shades of Grey without the sex”.

<sup>128</sup> Embora grandes escritores como Machado de Assis e Carlos Drummond de Andrade tenham sido funcionários públicos, seus relatórios governamentais eram “sérios”, sem tiradas literárias. A única exceção que conhecemos é Graciliano Ramos, autor de livros fundamentais como *Vidas Secas* e *Angústia*. Os relatórios de Graciliano como prefeito da cidade de Palmeira dos Índios são obras primas de qualidade e ironia.



## O IMBRÓGLIO DA NATIONAL SECURITY AGENCY: ALERTAS PARA O SETOR ELÉTRICO

As atividades de espionagem ampla, geral e irrestrita da *National Security Agency* (NSA) americana têm causado perplexidade no mundo e sérios problemas diplomáticos entre os Estados Unidos e vários países amigos, como a Alemanha e, mais recentemente, Brasil e México<sup>129</sup>.

A combinação de altíssima tecnologia e trapalhadas do governo americano<sup>130</sup> também tem sido um prato cheio para sátiras, como ilustram as figuras abaixo.



A espionagem da NSA tem efeitos que vão além da esfera diplomática ou jornalística. No caso do setor elétrico, por exemplo, a facilidade com que os espões coletaram informações reforça a importância de medidas de proteção à confidencialidade dos dados dos agentes. Um exemplo deste tipo de preocupação com confidencialidade é a Portaria MME nº 445/2012, que obriga os agentes da CCEE a enviar as mesmas informações sobre os *valores* (R\$/MWh) dos contratos negociados (até então, somente o *montante* contratado, MWh, era informado). O objetivo é desenvolver um *índice de preços* de contratos (por exemplo, com a média dos valores), que seria divulgado publicamente e contribuiria para a eficiência das contratações. Apesar de reconhecer os benefícios deste tipo de índice, os agentes se preocupam que as informações confidenciais sobre os valores contratuais, que serão utilizadas para calcular a média, sejam “hackeadas” por empresas rivais.

Evidentemente, a CCEE pretende tomar precauções de segurança, tais como criptografia, para que isto não ocorra. No entanto, dada a multiplicidade de relatos na imprensa sobre roubos de números e senhas de cartões de crédito de bancos e outras empresas de grande porte, bem como o caso recente de ataque dos sírios a um ultra-protegido registro central de endereços da Internet, que levou à queda do *site* do New York Times por mais de 48 horas<sup>131</sup>, parece-nos que a preocupação dos agentes é procedente. Esta

<sup>129</sup> No dia 1º de setembro, o programa Fantástico da TV Globo mostrou documentos da NSA com detalhes da espionagem dos celulares e e-mails da presidente Dilma Rousseff e do presidente Enrique Peña Nieto, do México.

<sup>130</sup> A necessidade de analisar os zilhões de dados gerados pelos programas de espionagem fez que os Estados Unidos dessem credenciais de segurança “top secret” a cerca de dois milhões de pessoas. Isto permitiu que funcionários de baixo escalão como Bradley Manning, um soldado de 23 anos (caso Wikileaks), e Edward Snowden, um administrador de sistemas de 29 anos, terceirizado da consultora Booz Allen Hamilton (caso NSA), tivessem acesso autorizado às centenas de milhares de documentos secretos que eles copiaram.

<sup>131</sup> [http://www.nytimes.com/2013/08/28/business/media/hacking-attack-is-suspected-on-times-web-site.html?\\_r=0](http://www.nytimes.com/2013/08/28/business/media/hacking-attack-is-suspected-on-times-web-site.html?_r=0)

preocupação aumenta diante das notícias de que a *National Security Agency* pressionou fornecedores de software como a Microsoft para permitir que seus espões acessassem, através de uma “porta dos fundos” (*backdoor*), as informações de arquivos e e-mails antes de os dados serem encriptados; a NSA também induziu a inserção de falhas nos padrões internacionais de criptografia e desenvolveu métodos para conseguir senhas<sup>132</sup>.

Outro dado inquietante para o setor é que as mesmas ferramentas que permitem copiar informações podem ser usadas para afetar a integridade física da rede de transmissão. Por exemplo, o ex-coordenador do *National Security Council* americano nos governos Clinton e Bush, Richard Clarke, afirma em seu livro, *Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It*, que pelo menos um dos apagões do sistema brasileiro foi causado por sabotagem digital. Embora o governo brasileiro conteste esta afirmação, a ação do vírus Stuxnet, desenvolvido pelos serviços de segurança americano e israelense, que causou a explosão de centenas de centrifugadoras de enriquecimento de urânio nas instalações ultra-secretas do governo iraniano, ilustra bem o potencial deste tipo de ataque<sup>133</sup>.

Uma característica alarmante do Stuxnet é que ele é capaz de controlar *qualquer* sistema de aquisição, supervisão e controle de dados, conhecido como SCADA. Os sistemas SCADA são usados em praticamente todos os setores industriais, tais como química, refinarias e subestações elétricas para acionar equipamentos de controle, tais como válvulas de pressão. Como mostra o diagrama ao lado<sup>134</sup>, o Stuxnet se instalou, via uma falha do Windows, nos controladores fabricados pela Siemens em várias indústrias, onde ficou dormente, só sendo ativado quando detectou que estava no sistema das centrifugadoras iranianas. É fácil ver que um esquema semelhante poderia ser aplicado para sabotar um amplo espectro de indústrias.

### How Stuxnet Spreads

Experts who have disassembled the code of the Stuxnet worm say it was designed to target a specific configuration of computers and industrial controllers, likely those of the Natanz nuclear facility in Iran.

#### INITIAL INFECTION

Stuxnet can enter an organization through an infected removable drive. When plugged into a computer that runs Windows, Stuxnet infects the computer and hides itself.

#### UPDATE AND SPREAD

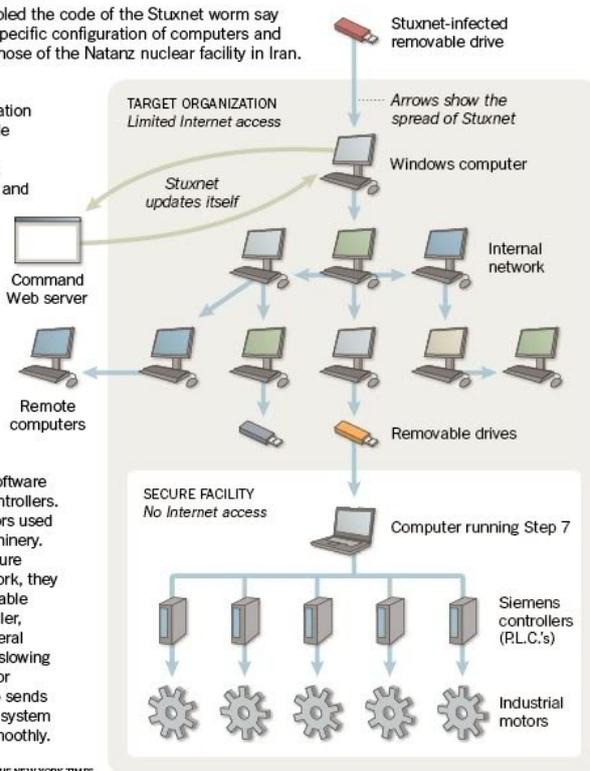
If the computer is on the Internet, Stuxnet may try to download a new version of itself. Stuxnet then spreads by infecting other computers, as well as any removable drives plugged into them.

#### FINAL TARGET

Stuxnet seeks out computers running Step 7, software used to program Siemens controllers. The controllers regulate motors used in centrifuges and other machinery. While the computers in a secure facility may not be on a network, they can be infected with a removable drive. After infecting a controller, Stuxnet hides itself. After several days, it begins speeding and slowing the motors to try to damage or destroy the machinery. It also sends out false signals to make the system think everything is running smoothly.

Source: Symantec

THE NEW YORK TIMES



Um dos objetivos deste editorial do ER é descrever um avanço matemático recente que pode contribuir para a confidencialidade da formação do índice de preços da CCEE: um algoritmo que calcula as estatísticas de um conjunto de dados criptografados (por exemplo, a média dos preços de contratos mencionada, ou outros parâmetros como o desvio padrão, matriz de correlação etc.) *sem que seja*

<sup>132</sup> No dia 5 de setembro, o NY Times e o The Guardian publicaram extensas reportagens sobre os esquemas utilizados pela NSA para penetrar praticamente todas as comunicações supostamente seguras da Internet – ver, por exemplo, <http://www.theguardian.com/world/2013/sep/05/nsa-gchq-encryption-codes-security>. No dia 6 de setembro, o jornal O Globo também publicou uma matéria detalhada sobre o tema.

<sup>133</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Stuxnet>

<sup>134</sup> <https://sites.google.com/site/thestuxnetwiki/>

*necessário decriptografá-los*. Em outras palavras, a CCEE não saberia o real valor de nenhum dos contratos enviados por cada agente, mas ainda assim poderia calcular corretamente estatísticas dos mesmos.

A existência de um algoritmo com esta propriedade, conhecida em “matematuquês” como “criptografia homeomórfica completa” (*complete homomorphic encryption*), foi uma surpresa até para os especialistas em teoria da computação. Será mostrado que o algoritmo é relativamente simples e que, apesar de recente, pode ser aplicado a problemas reais, como o da CCEE.

Também descreveremos brevemente outros avanços tecnológicos tais como criptografia quântica, que, apesar de parecer ficção científica, já tem aplicações comerciais<sup>135</sup>. Será visto que uma grande vantagem da criptografia quântica é detectar com 100% de segurança qualquer tentativa de espionagem na informação sendo transmitida. Uma aplicação importante de criptografia quântica, e que é objeto de pesquisas intensas nos Estados Unidos, é na área de *smart grids*, que se tornariam invulneráveis aos *hackers*<sup>136</sup>.

Seguindo a tradição de outros editoriais do ER, começaremos com uma breve retrospectiva histórica do tema. Inicialmente, há duas maneiras básicas de enviar uma mensagem secreta: (i) *esteganografia* (“escrita oculta”, em grego), onde a mensagem é *disfarçada* de maneira que ninguém saiba que a mesma está sendo enviada; e (ii) *criptografia* (“escrita secreta”), onde a mensagem é *codificada* de maneira que ninguém consiga decifrar seu conteúdo.

### **Esteganografia<sup>137</sup>**

Um dos primeiros exemplos de esteganografia é citado por Heródoto, nas crônicas das guerras entre gregos e persas. No final do século 6 a.C., o imperador persa Dario colocou o grego Histiaeus como tirano da cidade de Mileto. Só que Histiaeus se mostrou um aliado meio duvidoso, e Dario o levou para uma temporada um tanto forçada na capital persa, Sula. Histiaeus resolveu então atizar uma revolta na Grécia, para ser mandado de volta a Mileto. Seu método de comunicação com os gregos foi raspar a cabeça de um escravo, tatuar uma mensagem na careca, esperar o cabelo crescer de novo, e – ufa! – enviar o escravo para a Grécia. Como se pode ver, um método bastante engenhoso e seguro, porém não muito veloz. Nos tempos modernos, a segunda guerra mundial produziu novos usos da esteganografia. Por exemplo, a Resistência francesa retomou o método Histiaeus de escrever mensagens nas pessoas, só que com tinta invisível. Por sua vez, os filmes de espionagem da guerra popularizaram os chamados “micropontos” (*microdots*), fotos minúsculas de textos ou diagramas, do tamanho de um ponto em um texto datilografado, e que eram colados a cartas comerciais e outros documentos de aparência comum. A aplicação possivelmente mais bem bolada da esteganografia na guerra foi a chamada Operação Picadinho (*Mincemeat*), cujo objetivo era convencer o Alto Comando alemão de que a invasão aliada não seria feita na Normandia, via uma informação falsa que seria encontrada “acidentalmente” (um cadáver vestido como mensageiro secreto do Churchill jogado no mar da costa espanhola<sup>138</sup>).

<sup>135</sup> Detalhes mais adiante.

<sup>136</sup> Detalhes mais adiante.

<sup>137</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Steganography>

<sup>138</sup> Nas vésperas da invasão da Normandia, um cadáver vestido como mensageiro especial do governo (daí a razão para o nome da Operação) foi deixado no mar da costa da Espanha, como se tivesse sofrido um acidente de avião. A malaleta algemada ao pulso deste “mensageiro” continha documentos secretos informando que o desembarque ocorreria em outro lugar. Após alguns sustos, tais como a tentativa cavalheiresca do governo espanhol em devolver aos ingleses a malaleta sem abrir e outros incidentes hilariantes, a informação acabou nas mãos do Alto Comando alemão (o livro *Operation Mincemeat: How a Dead Man and a Bizarre Plan Fooled the Nazis and Assured an Allied Victory*, de Ben Macintyre, conta esta história).

Com a era digital, a esteganografia se sofisticou muito<sup>139</sup>. Por exemplo, a paisagem da foto digital à esquerda esconde a foto do gato à direita (a foto oculta é obtida “shiftando” dois bits de cada pixel da primeira foto). Uma consequência malévola destes métodos digitais avançados é seu uso por grupos terroristas<sup>140</sup>, por exemplo, aproveitando as *pausas* que separam conversas por Skype para esconder mensagens<sup>141</sup>.



### Criptografia<sup>142</sup>

De uma maneira geral, criptografar, ou codificar, é uma operação matemática que transforma um texto legível em um texto ilegível. A maneira mais intuitiva de codificar um texto é a chamada *transposição*, onde as letras do alfabeto são “embaralhadas”: por exemplo, o “a” no texto original se transforma em “h”, o “b”, em um “f”, e assim por diante. O primeiro documento a recomendar codificação de textos por transposição é o Kama Sutra, quatro séculos antes de Cristo, como precaução para a turma que estava “pulando a cerca”. Pouco depois os espartanos, que preferiam pancadaria a namorar, adotaram nas mensagens das batalhas o esquema de transposição com um aperfeiçoamento, que era um bastão (skytale, em grego) em torno do qual o texto codificado era enrolado, e aparecia o texto original.



No século 9, o matemático árabe Al-Kindi acabou com a festa do método de transposição ao perceber que a *frequência* com que cada letra do alfabeto aparece nos textos original e criptografado era a mesma. Por exemplo, se a letra “a” aparece em português com a maior frequência, isto significa que sua transposição para “h”, como no exemplo acima, passará a ser a de maior frequência no texto criptografado. Isto levou ao desenvolvimento do chamado *método estatístico de decodificação*, onde se conta quantas vezes cada letra transposta aparece no texto codificado e, usando uma tabela com as frequências das mesmas, pode-se reconstituir a mensagem original.

No século 15, Leon Battista Alberti, uma daquelas pessoas da Renascença que era escritor, pintor, arquiteto etc. percebeu que o método estatístico podia ser “enganado” se, para cada parágrafo sendo codificado, fosse utilizada uma tabela de transposição diferente, e escolhida aleatoriamente (é fácil ver que esta troca faria com que todas as letras codificadas tivessem mais ou menos a mesma frequência).

Apesar de teoricamente indecifrável, o método de Alberti tinha dois inconvenientes importantes: (i) era trabalhoso codificar; e (ii) o receptor da mensagem precisava saber a sequência de troca de tabelas, conhecida como *chave do código*. O primeiro inconveniente foi resolvido com o desenvolvimento de máquinas de codificação, cujo exemplo mais famoso é a máquina Enigma<sup>143</sup>, desenvolvida pelos alemães na Segunda Guerra. No entanto, a sofisticação da Enigma obrigava o receptor das mensagens a ter uma cópia da máquina para decodificar. É fácil ver que isto criava uma grande vulnerabilidade, pois se o

<sup>139</sup> Ver Nota de rodapé 10.

<sup>140</sup> Os agentes de contraterrorismo têm softwares de análise estatística que podem detectar os padrões de imagens escondidas. Para dificultar esta detecção, os terroristas usam fotos bastante comuns na Internet, o que é sinônimo de fotos de gatos, estimadas em mais de um bilhão (ver <http://diaryofnumbers.blogspot.com.br/2010/09/i-can-haz-estimation.html>)

<sup>141</sup> <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21571120-tinkering-skype-can-allow-people-send-undetectable-messages-speaking>

<sup>142</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Cryptography>

<sup>143</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Enigma\\_machine](http://en.wikipedia.org/wiki/Enigma_machine)

inimigo conseguisse roubar uma cópia desta máquina, teria o “mapa da mina” e poderia decodificar todas as mensagens. E foi isso que aconteceu com a Enigma: os aliados capturaram um submarino alemão, pegaram a máquina e afundaram o submarino como se ele tivesse sido torpedeado de longe, para que os alemães não desconfiassem do “empréstimo”. A engenharia reversa feita na máquina, aliada à genialidade de um grupo de criptógrafos ingleses, liderados por Alan Turing, futuro criador da teoria da computação<sup>144</sup>, e à capacidade do primeiro computador, Colossus, permitiu que os ingleses, durante toda a guerra, tivessem acesso a todas as comunicações do alto comando alemão<sup>145</sup>.

A necessidade – e vulnerabilidade – de o receptor da mensagem ter a chave do código perdurou até 1977, quando foi criado o algoritmo RSA. Este algoritmo revolucionou a criptografia mundial, pois *não requer* que o receptor da mensagem tenha uma chave. Como foi possível esta mágica?

### O algoritmo RSA

A ideia básica do algoritmo RSA é simples. Suponha que eu tenha uma *função de codificação*, representada por  $f$ , que pode ser aplicada a qualquer texto, representado por  $x$ . Por exemplo, no código ASCII, usado nos computadores, a letra “A” é representada pelo número decimal 65 (100 0001, na notação binária). A função  $f$  poderia ser, por exemplo, elevar o número ao quadrado:  $f(A) = 65^2 = 4225$ , que passaria a ser a codificação. Em outras palavras, codificar um texto neste caso seria aplicar a função “elevar ao quadrado” à representação ASCII do mesmo.

O “pulo do gato” dos autores Ron Rivest, Adi Shamir and Leonard Adleman (origem do acrônimo RSA) foi escolher uma função  $f$  tal que seja *fácil* codificar o texto  $x$ , isto é, calcular  $f(x)$ , porém que seja *impossível* calcular a função *inversa*,  $f^{-1}(x)$ . Como consequência, a decodificação do texto por um espião, que é equivalente a calcular a inversa, seria impossível.

Para o exemplo acima, é como se ninguém soubesse como calcular uma raiz quadrada. Neste caso, dado o texto codificado 4225, o espião não conseguiria descobrir que o texto original era  $f^{-1}(4225) = \sqrt{4225} = 65$  (A).

Esta ideia levanta imediatamente a seguinte objeção: se ninguém sabe calcular uma raiz quadrada, o recipiente da mensagem também não saberá. Portanto, como conseguir uma função cuja inversa ninguém conhece, à exceção do recipiente legítimo do código?

A genialidade do RSA reside justamente em ter encontrado uma resposta para a pergunta acima: uma função impossível de inverter, exceto pela pessoa que a construiu, que é o *produto de dois números primos gigantescos*. Por exemplo, calcular o produto dos números primos a seguir,  $3463 \times 3571 = 12.366.373$ , é moleza. Já *fatorar* este produto para descobrir os números primos originais é bem mais chatinho. E quando os fatores não têm quatro dígitos (ordem de milhares), como os acima, e sim, 10 dígitos (ordem de bilhões), como na vida real<sup>146</sup>, o produto será um número inteiro da ordem de quintilhões. Dado que não existe nenhum algoritmo que seja remotamente capaz de descobrir os fatores primos de um número desta ordem (sem dispor de alguns milhares de anos para fazer os cálculos), podemos concluir que uma função de codificação  $f(x)$  baseada no produto de números primos só pode ser decodificada pela pessoa que construiu a função, pois ela é a única que conhece os fatores.

<sup>144</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Turing](http://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing)

<sup>145</sup> Há vários livros que contam em detalhe a história do grupo que decifrou estes códigos, por exemplo, *Colossus: The secrets of Bletchley Park's code-breaking computers*, de B. Jack Copeland.

<sup>146</sup> Na vida real, utilizam-se números binários com 2048 dígitos, o que equivale aproximadamente a um número decimal na casa dos bilhões.

De uma maneira  *muito simplificada* (o algoritmo real é bem mais complexo<sup>147</sup>), o algoritmo RSA funciona da seguinte maneira:

1. O futuro recipiente da mensagem codificada, por exemplo, o governo brasileiro,  *anuncia publicamente* (jornal, Internet, onde quiser) a “receita” para se construir a função  $f(x)$ . Como visto, esta receita se baseará no  *produto* (também público) de dois números primos gigantes (lembrem que os números primos em si são secretos, conhecidos somente pelo governo).
2. A pessoa que vai enviar a mensagem (por exemplo, o embaixador do Brasil nos Estados Unidos) usa a receita pública para codificar sua mensagem, isto é, calcula  $f(x^*)$ , onde  $x^*$  é a mensagem específica que ele quer enviar, e  *publica*  $f(x^*)$ , por exemplo, no NY Times.
3. O governo brasileiro lê a mensagem no NY Times e aplica seu conhecimento secreto dos fatores primos para decodificá-la, isto é, calcular a função  $f^{-1}(x^*)$ , e assim obter a mensagem original  $x^*$ . Como visto, ninguém mais pode decodificar a mensagem, pois ninguém sabe fatorar o produto.

É fácil ver que o algoritmo RSA resolve o problema da chave do código de maneira brilhante, pois a chave passa a ser  *pública* (daí o nome  *public key encryption* que caracteriza este algoritmo), porém sem dar qualquer alavancagem à pessoa (espião) que a conheça.

Devido a estas vantagens, o algoritmo RSA passou a ser o padrão mundial de criptografia, e está por trás de praticamente todas as transações de cartão de crédito, compras em loja  *online*, e comunicações confidenciais de empresas e governos do mundo inteiro.

No entanto, esta universalidade do RSA criou uma nova fragilidade: se alguém fizer o impensável, que é fatorar um número inteiro da ordem de quintilhões, conseguirá de uma só penada decodificar  *todas* as transações financeiras e diplomáticas do mundo.

Como se pode imaginar, a NSA fica salivando com esta possibilidade. Não é à toa que esta agência, além de ser a maior empregadora de matemáticos do mundo, batendo de longe empresas de alta tecnologia como a IBM e o Google, é também a entidade de maior capacidade de processamento e armazenamento de informações do planeta<sup>148</sup>, deixando na poeira, por exemplo, a Amazon, maior empresa global de computação em nuvem, cujos serviços respaldam 20% da Internet<sup>149</sup>.

No entanto, este esforço da NSA parece ter um ponto fraco. Suponha que, contrariando as expectativas, os matemáticos da agência consigam fatorar um número de 20 dígitos. O que impede as pessoas de aumentar o número de dígitos do número a fatorar do RSA para, por exemplo, 40, ou 80, ou 100, deixando novamente a NSA para trás?

Até alguns anos atrás, esta objeção era totalmente verdadeira, tanto assim que o número de dígitos vem aumentando progressivamente. No entanto, há uma tecnologia ainda em desenvolvimento capaz de fatorar números com  *qualquer número de dígitos* (100, um milhão, um bilhão) em poucos minutos.

Esta tecnologia, que é conhecida como  *computação quântica*, será descrita a seguir.

<sup>147</sup> Vide [http://en.wikipedia.org/wiki/RSA\\_\(algorithm\)](http://en.wikipedia.org/wiki/RSA_(algorithm)) para uma descrição mais detalhada

<sup>148</sup> [http://www.wired.com/threatlevel/2012/03/ff\\_nsadatacenter/all/](http://www.wired.com/threatlevel/2012/03/ff_nsadatacenter/all/)

<sup>149</sup> A origem desta informação é o recente blecaute da nuvem da Amazon, que derrubou 20% do tráfego da Internet.

## Computação quântica

A origem da computação quântica está nos debates entre Albert Einstein e Niels Bohr, dois gigantes da física, nos anos de 1929 e 1930. Embora Einstein tenha feito contribuições fundamentais à mecânica quântica, ele nunca aceitou a interpretação da mesma, feita por Bohr, e conhecida como Interpretação de Copenhague<sup>150</sup>. De maneira muito simplificada, esta interpretação diz que a Natureza é *intrinsecamente probabilística*, isto é, mesmo conhecendo nos mínimos detalhes os parâmetros de um átomo de hidrogênio, composto de apenas um próton e um elétron, jamais será possível saber onde o elétron vai estar no próximo instante; só é possível saber a *distribuição de probabilidade* de sua localização.

A equação de mecânica quântica que representa esta natureza probabilística é o *princípio da incerteza de Heisenberg*, outro gigante da física. Novamente de maneira simplificada, este princípio diz que o *produto das incertezas* da posição do elétron e da sua velocidade deve ser *maior ou igual* a uma determinada constante.

Fazendo uma analogia (meio errada, como qualquer analogia de mecânica quântica) do princípio da incerteza de Heisenberg aplicada a um automóvel viajando na Rio-São Paulo: suponha que a incerteza da posição é de 5 quilômetros (o automóvel está entre os quilômetros 119 e 124 da estrada) e que a constante é 20. Isto significa que a incerteza na velocidade deve ser pelo menos 4 km/hora (por exemplo, entre 75 e 79 km/hora).

O que acontece se eu “cravar” a posição do automóvel, por exemplo, souber que ele está *exatamente* no quilômetro 120 da estrada (incerteza zero)? De acordo com o princípio de Heisenberg, a incerteza na velocidade irá para *infinito*, isto é, o automóvel poderá estar viajando entre zero e infinitos km/hora. Embora isto pareça absurdo para um objeto macroscópico como um automóvel, as equações da mecânica quântica dizem que é o que ocorreria com um objeto microscópico como o elétron.

### Os debates Bohr-Einstein

Embora as previsões da mecânica quântica tenham sido confirmadas com um nível de precisão difícil de acreditar<sup>151</sup>, Einstein não se conformava com a ideia de que a natureza era intrinsecamente probabilística (esta é origem da famosa frase dele, “Deus não joga dados”). Ele então bolou vários contraexemplos conceituais que violariam o princípio da incerteza de Heisenberg (lembrem que um único contraexemplo destruiria toda a mecânica quântica), desafiando Niels Bohr e sua equipe a resolvê-los, em geral durante encontros científicos.

Como se pode imaginar, cada exemplo que Einstein tirava da cartola era diabólico, deixando qualquer um convencido que a mecânica quântica tinha sido destruída<sup>152</sup>. A equipe de Bohr passava a noite em claro, arrancando os cabelos, mas no dia seguinte mostrava onde estava o erro de Einstein. O ponto

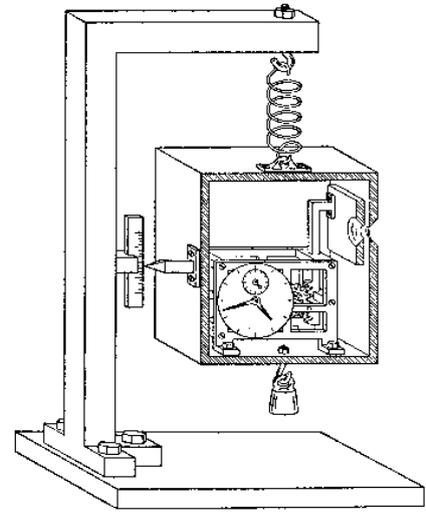
<sup>150</sup> Bohr era dinamarquês, e seu instituto de pesquisas, que congregava os melhores físicos do mundo, era em Copenhague.

<sup>151</sup> O físico Richard Feynman, criador da eletrodinâmica quântica (teoria quântica do eletromagnetismo) e um dos físicos mais famosos da segunda metade do século 20 costumava dizer que a precisão da mecânica quântica era equivalente a medir a distância entre Nova York e Los Angeles (4500 km) com um erro menor do que a espessura de um fio de cabelo.

<sup>152</sup> Os debates estão detalhados em [http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr%E2%80%93Einstein\\_debates](http://en.wikipedia.org/wiki/Bohr%E2%80%93Einstein_debates) de uma maneira bastante técnica. Para quem tiver interesse, recomendamos o livro de Manjit Kumar, *Quantum: Einstein, Bohr, and the Great Debate about the Nature of Reality*, bem mais legível, porém mantendo a correção científica.

culminante do debate foi um sistema de relógio com balança, que permitia medir com precisão arbitrária a hora e velocidade em que uma partícula seria emitida por um material radioativo (desenho original de Einstein, ao lado). A equipe do Bohr quase foi a nocaute, mas depois de noites em claro, descobriu onde estava o “furo” no raciocínio de Einstein: ele havia esquecido de considerar sua própria Teoria da Relatividade Geral. O efeito da relatividade geral neste caso é fazer o relógio andar mais devagar. Embora minúsculo, este efeito criava uma incerteza que era exatamente a prevista pelo princípio de Heisenberg.

Diante da ironia de ser derrubado por sua própria teoria, Einstein jogou a toalha e não falou mais no assunto por alguns anos. No entanto, em 1933 ele voltou à carga, em um artigo com seus colegas Boris Podolsky e Nathan Rosen (por causa dos sobrenomes dos autores, o artigo é conhecido como EPR). Será visto a seguir que este artigo deu origem a várias tecnologias que muitos pensam ser ficção científica, mas que existem na realidade, tais como a já citada computação quântica e o teletransporte de matéria, o mesmo do filme Jornada nas Estrelas (*Star Trek*).



### O paradoxo EPR

No artigo, Einstein começa com dois elétrons na mesma posição, e que adicionalmente foram “emaranhados” (*entangled*, em inglês, é o termo da física). O *entanglement* é uma propriedade de mecânica quântica que torna os elétrons idênticos, como se fossem a mesma partícula<sup>153</sup>. Em seguida, os autores imaginaram que estes elétrons saíram da posição inicial com velocidades idênticas (embora desconhecidas naquele momento), só que um foi para a esquerda e o outro, para a direita. O próximo passo foi supor que, passado algum tempo (para evitar que um elétron se comunicasse com o outro, devido à velocidade da luz) a posição do elétron que foi para a direita foi medida com precisão absoluta (incerteza zero). Como visto, o princípio de Heisenberg diz que, neste caso, a incerteza na velocidade é infinita. Aí entrou o pulo do gato: dado que os elétrons saíram com a *mesma* velocidade, e em direções opostas, os autores argumentaram que, por simetria, conhecem *exatamente* a posição do elétron que foi para a esquerda, *sem fazer qualquer medida* (mesma posição recém-medida do elétron que foi para a direita). Isto significa que é possível medir, novamente com precisão absoluta, a *velocidade* do elétron que foi para a esquerda; não importa que a posição deste elétron fique estragada, pois a mesma já foi medida na partícula gêmea. Em resumo: através da criação das partículas gêmeas, os autores do EPR argumentaram que era possível medir com precisão absoluta a posição e a velocidade e, portanto, mandar pro beleléu o princípio da incerteza.

O paradoxo EPR teve um efeito devastador, pois ninguém conseguia encontrar um “furo” conceitual. No desespero, a turma do Bohr resolver *simular* o que aconteceria, isto é, resolver as equações da mecânica quântica para esta situação de *entanglement*. Para surpresa geral, a solução das equações foi que o elétron da direita informaria ao da esquerda, *com velocidade infinita*, que alguém tinha medido sua posição com precisão total. Isto permitiria que o elétron da esquerda reagisse *instantaneamente*, mudando aleatoriamente sua velocidade exatamente como indicado pelo princípio da incerteza. Como consequência, quando a velocidade do elétron da esquerda fosse medida como indicado no artigo, já não se poderia afirmar nada, e Heisenberg estaria salvo.

<sup>153</sup> Para quem tiver interesse nesta área, recomendamos o livro *Entanglement*, de Amir Aczel.

Quando os físicos mostraram esta solução para o Einstein, ele chilicou: não bastasse terem usado a relatividade geral contra ele durante os debates, a turma do Bohr agora estava afirmando que o princípio básico da relatividade restrita, de que nada poderia exceder a velocidade da luz, podia ser violado. Pior: as equações afirmavam que a velocidade de comunicação entre os elétrons era infinita *mesmo*: por exemplo, se ao invés de separados por alguns metros, um dos elétrons *entangled* estivesse no outro lado da galáxia, ou no fim do universo, as equações diziam que a informação de que alguém tinha “cutucado” seu elétron gêmeo chegaria instantaneamente.

### *Verificação experimental do entanglement e a origem da computação quântica*

Como na época ninguém sabia como testar a predição de comunicação instantânea que resultava das equações da mecânica quântica (nem teria condições técnicas de fazê-lo, caso alguém sugerisse uma experiência), o assunto ficou no “cada qual com sua opinião”. No entanto, em 1964 o físico irlandês John Bell bolou uma maneira de testar experimentalmente a predição<sup>154</sup>. E, em 1982, o francês Alain Aspect realizou a experiência proposta por Bell, a qual confirmou a existência dos efeitos do *entanglement*<sup>155</sup> previstos por Bohr (inclusive a comunicação instantânea).

Se o assunto tivesse parado por aí, o *entanglement* seria apenas mais um dos muitos aspectos misteriosos da mecânica quântica. No entanto, em 1985, o físico David Deutsch interpretou o *entanglement* de uma maneira completamente inesperada, e que deu origem às tecnologias de computação quântica e criptografia quântica mencionadas na Introdução.

De maneira muito simplificada, Deutsch mostrou que o *spin*, que é um dos parâmetros que caracteriza um elétron, poderia ser visto como um *bit* (0,1) de computador<sup>156</sup>. No entanto, diferentemente de um computador convencional, em que o valor do *bit* ou é zero ou é um, um elétron pode ter *simultaneamente* os valores zero e um<sup>157</sup>.

Deutsch chamou este bit quântico de *qubit*<sup>158</sup> e mostrou que ele poderia ser interpretado como *dois* computadores convencionais calculando soluções diferentes. É nesta hora que entrou o *entanglement*: se ao invés de um elétron, “emaranharmos” *dois* elétrons, teremos *dois qubits*, que correspondem não a duas, mas a *quatro* ( $2^2$ ) combinações de valores: (0,0), (0,1), (1,0) e (1,1). De acordo com a interpretação de Deutsch, isto equivale a quatro computadores convencionais operando em paralelo. Em outras palavras, o poder computacional cresce *exponencialmente* a cada elétron que agregarmos ao “emaranhado”. Só como referência, com apenas 1.000 elétrons já se teria um poder computacional bem maior do que se obteria transformando todo o silício da terra em processadores.

A interpretação de Deutsch<sup>159</sup> eletrizou a comunidade científica, que passou a investigar ativamente como construir um computador quântico. Atualmente, há dezenas de centros científicos dedicados à computação quântica<sup>160</sup>, inclusive no Brasil<sup>161</sup>. Como se pode imaginar, a construção de um *hardware*

<sup>154</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Bell's\\_theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/Bell's_theorem)

<sup>155</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Alain\\_Aspect](http://en.wikipedia.org/wiki/Alain_Aspect)

<sup>156</sup> A razão é que o *spin* só pode ter dois valores,  $-1/2$  e  $+1/2$ .

<sup>157</sup> De maneira muito simplificada, a razão de um elétron poder estar simultaneamente nos dois estados é a mesma que nos impede de sabermos exatamente onde está o elétron, e somente conhecer a probabilidade de estar em cada lugar.

<sup>158</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Qubit>

<sup>159</sup> O artigo original é Deutsch, David (July 1985). "Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer". Proceedings of the Royal Society of London; Series A, Mathematical and Physical Sciences 400 (1818): pp. 97–117. Para quem tiver interesse, recomendamos seu livro de 1997, *The Fabric of Reality*.

<sup>160</sup> Ver, por exemplo, <http://www.qubit.org/>

<sup>161</sup> <http://portal.cbpf.br/index.php?page=GruposPesquisa.User1&grupo=37>

*quântico* é bastante complexa, pois depende do desenvolvimento de tecnologias capazes de manter os elétrons no estado de *entanglement*, por exemplo, os *quantum dots*<sup>162</sup>.

No entanto, o grande desafio no caso da computação quântica não é o *hardware*, e sim o *software*.

A razão é que, como dissemos, um computador quântico calcula simultaneamente todas as soluções possíveis de um problema. No entanto, *como saber qual é a solução certa* quando se tem um conjunto de, por exemplo,  $2^{100}$  soluções?

Este problema embatucou toda a comunidade científica, a ponto de alguns pesquisadores preverem que jamais seria possível desenvolver um algoritmo para um computador quântico. No entanto, em 2001, o pesquisador da IBM Peter Shor *desenvolveu o primeiro algoritmo para computação quântica*<sup>163</sup>. Como os leitores que perseveraram bravamente na leitura do Editorial até agora podem imaginar,

O algoritmo de Shor permite que um computador quântico fatore números de qualquer tamanho.

A possibilidade de pulverizar o algoritmo RSA fez com que a NSA americana e outras agências de segurança internacionais colocassem bilhões de dólares no desenvolvimento da computação quântica, transformando uma área de pesquisa meio esotérica em um dos campos principais de investigação.

Como está a computação quântica hoje? Se olharmos a literatura científica publicada, ainda há muito a caminhar. O melhor que se conseguiu em laboratório foi fazer um computador quântico com 8 *qubits* fatorar o número 21 em  $3 \times 7$ , o que não exatamente merece uma citação no Livro Guinness de Recordes. No entanto, há uma exceção notável neste panorama, que é o computador quântico *D-Wave*, lançado comercialmente em 2007 com 16 *qubits* (quatro vezes mais o que os centros de pesquisa tinham na época). No início do ano, a *D-WAVE* lançou uma nova versão de sua máquina com 512 *qubits*, 64 vezes mais do que o resto do mundo tem. Recentemente, o Google e a NASA adquiriram em conjunto um destes computadores.

Como se pode imaginar, o D-WAVE deixou os pesquisadores perplexos. Esta perplexidade se transformou em fúria quando a empresa se recusou a divulgar detalhes de como a geringonça funcionava. Finalmente, a fúria se transformou em guerra nuclear quando descobriram que o fundador da empresa era um garoto especialista em marketing que nunca tinha feito um curso de física. De fato, até o design do computador parecia gozação, pois ficaria muito bem na casa do Darth Vader.



<sup>162</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_dot](http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_dot)

<sup>163</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Shor's\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Shor's_algorithm). Para quem tiver interesse no tema, recomendamos o livro *Minds, Machines, And The Multiverse: The Quest For The Quantum Computer*, de Julian Brown. Apesar do título meio “chamativo”, o livro apresenta uma descrição muito clara dos algoritmos de Shor e de computação quântica em geral.

Para surpresa da imensa maioria dos especialistas, o D-WAVE não era uma empulhação. A empresa publicou alguns artigos em revistas de grande prestígio como a *Science* mostrando que havia *entanglement* (condição *sine qua non* para ser um computador quântico) e, explicou que os cálculos eram baseados em outro fenômeno de mecânica quântica, conhecido como *adiabatic quantum computing*. De maneira muito simplificada, a computação adiabática funciona da seguinte maneira: dado um conjunto de partículas “emaranhadas”, perturba-se *muito* devagarzinho as mesmas e, como consequência, o conjunto de partículas evolui para a configuração de mínima energia. O “macete” neste caso é que existe uma relação matemática entre cada configuração de mínima energia e a solução ótima de uma classe de problemas de otimização com variáveis binárias, por exemplo, o planejamento da transmissão ( $x = 1$  se a linha é construída e  $= 0$  se não é). Alguns artigos recentes de pesquisadores não afiliados à empresa compararam as soluções (e tempos) do D-WAVE para vários problemas de otimização com as do conhecido pacote comercial de otimização CPLEX, e reportaram que, em alguns casos, o D-WAVE foi 3.600 vezes mais rápido. Este resultado foi criticado por alguns especialistas em otimização, que mostraram que um algoritmo especializado era capaz de resolver os problemas muito mais rápido do que o CPLEX, que é um sistema geral de otimização. Embora a crítica proceda, a opinião atual é que o D-WAVE é um computador quântico de verdade, porém especializado em resolver alguns tipos de problema<sup>164</sup>. Em particular, ele não conseguiria fatorar os números dos algoritmos de criptografia RSA.

### É a NSA?

Há rumores persistentes de que a NSA teria desenvolvido computadores quânticos de verdade, mas ficado “na moita”. Isto é possível, porém não pode ser verificado. De qualquer maneira, foram anunciados publicamente este ano avanços matemáticos que potencialmente permitem fatorar números muito grandes em computadores convencionais<sup>165,166</sup>. Em resumo,

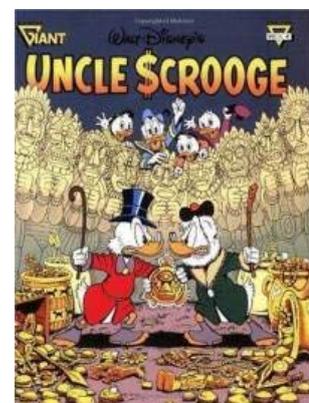
As análises acima nos permitem concluir que os métodos criptográficos atuais, mesmo desenvolvidos com as técnicas mais modernas, podem ser mais vulneráveis à espionagem do que talvez se imagine.

Isto torna importante a busca por métodos alternativos de proteção à privacidade dos dados. Um destes métodos, a encriptação homeomórfica completa, será descrito a seguir.

### O problema dos dois milionários

Em 1982, o pesquisador Andrew Yao formulou o seguinte problema: suponha que dois milionários, A e B, querem saber quem é o mais rico, *porém não querem revelar o valor de suas respectivas fortunas* a ninguém. Isto é possível? Observem que não é permitido usar uma terceira pessoa neutra ou criptografar os dados e rodar um programa de computador porque, pelas razões discutidas anteriormente, todos estes métodos são potencialmente vulneráveis.

Curiosamente, o problema dos milionários foi inspirado por uma antiga história em quadrinhos do Tio Patinhas, em que ele disputa com outro pato o título de mais rico do mundo, e levam meses a fio com contadores (e outras aventuras) medindo suas fortunas. Isto levou Yao



<sup>164</sup> <http://www.wired.com/wiredenterprise/2013/06/d-wave-quantum-computer-usc/>

<sup>165</sup> <http://www.economist.com/blogs/babbage/2013/09/breaking-cryptography>

<sup>166</sup> <http://www.technologyreview.com/news/517781/math-advances-raise-the-prospect-of-an-internet-security-crisis/>

a se perguntar se não haveria uma maneira menos invasiva de resolver a questão. Apesar da formulação meio folclórica, o que está por trás do problema é um tema muito importante: é possível obter uma informação *agregada* a respeito de um conjunto de agentes *preservando a privacidade* das informações *detalhadas* de cada um?

Surpreendentemente, a resposta foi afirmativa: Yao construiu um algoritmo que permite saber qual é o mais rico sem revelar o montante de cada fortuna<sup>167</sup>. Embora o algoritmo de Yao fosse aplicável somente ao problema específico, o fato de ser possível resolver *um* problema de preservar a privacidade motivou a pesquisa sobre métodos *gerais* de proteção de informações.

Em 2009, o pesquisador da IBM Craig Gentry construiu um algoritmo capaz de extrair qualquer informação agregada (por exemplo, a média dos preços de contratos da CCEE) a partir de cálculos sobre informações detalhadas encriptadas (para o mesmo exemplo, o preço de cada contrato) *sem que seja necessário decodificá-las*<sup>168</sup>. Será visto a seguir que a encriptação, neste caso, não pode ser quebrada mesmo com os melhores recursos da NSA, pois, diferentemente das encriptações normais, não há necessidade de que outra pessoa (o receptor da mensagem) a decodifique.

A única limitação do algoritmo de Gentry é que, por ser geral, ele é relativamente complexo e lento demais para ser usado na prática. Felizmente, nos últimos anos têm surgido algoritmos eficientes feitos sob medida para casos específicos. Mostraremos a seguir um destes algoritmos, proposto no final de 2011<sup>169</sup>, e que pode ser adaptado para calcular a média e a covariância dos preços de um conjunto de contratos. Por simplicidade de apresentação, o algoritmo será descrito para o caso da média.

Suponha que há  $N$  comercializadoras (indexadas por  $n = 1, 2, \dots, N$ ) e que cada uma tem somente um contrato de comercialização de energia, com preços representados por  $P(n)$ ,  $n = 1, \dots, N$ . Suponha agora que a CCEE gostaria de calcular a média destes preços:  $P_{\text{med}} = 1/N (P(1)+P(2)+ \dots +P(N))$ . Como calcular esta soma sem revelar as parcelas?

- 1) Cada agente sorteia aleatoriamente  $N-1$  valores de uma distribuição uniforme  $(0,1)$ .
- 2) Em seguida, o agente envia os valores sorteados para os demais agentes (um para cada um). Ao final deste passo, cada agente terá  $N-1$  valores que os outros agentes enviaram para ele e  $N-1$  valores que ele enviou para os demais.
- 3) A codificação do preço  $P(n)$  de cada agente  $n$  será feita *somando* ao mesmo os  $N-1$  valores por ele recebidos e *subtraindo* os  $N-1$  valores por ele enviados. Este preço codificado é então enviado para a CCEE.

É fácil ver que a soma dos preços codificados vai ser igual à soma dos preços originais, porque os valores sorteados vão se cancelar. Adicionalmente, nenhum dos valores enviados à CCEE pode ser decodificado por qualquer agente, porque ele inclui valores sorteados aleatoriamente pelos demais. Portanto, a CCEE obtém o resultado que deseja (a soma dos preços dos contratos) e a privacidade dos agentes é preservada.

A mesma lógica se aplica a outras estatísticas, por exemplo, covariância entre os preços (neste caso, os valores sorteados são multiplicados e divididos). Há também uma série de medidas que aumentam a segurança, como realizar a soma usando uma aritmética de módulo, o que permite disfarçar a *escala* dos

<sup>167</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Yao's\\_Millionaires'\\_Problem](http://en.wikipedia.org/wiki/Yao's_Millionaires'_Problem)

<sup>168</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic\\_encryption](http://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic_encryption)

<sup>169</sup> Emmanuel A. Abbe, Amir E. Khandani, Andrew W. Lo, *Privacy-Preserving Methods for Sharing Financial Risk Exposures*, arXiv, Novembro de 2011.

valores (com isto, uma comercializadora com um grande número de contratos não pode ser distinguida de uma menor). Em resumo,

Na opinião da PSR, os algoritmos de codificação baseados em homeomorfismo completo podem ser uma alternativa de interesse para a implementação da Portaria 455/2012, pois preservam de maneira eficiente a privacidade dos agentes.

### Criptografia Quântica

Nesta seção, analisaremos o segundo subproduto do artigo EPR e da criatividade de David Deutsch, que é a criptografia quântica. Além de perceber que os elétrons “emaranhados” poderiam ser usados para computação, Deutsch percebeu que eles poderiam ser usados para *teletransporte*. Se o leitor viu qualquer filme de ficção científica, provavelmente viu uma cena em que o tripulante da nave espacial é desmaterializado (em geral com alguns efeitos sonoros e luminosos) e aparece em outro lugar. A maioria das pessoas imagina que a pessoa é fisicamente transportada para este novo lugar, só que bem rápido. No entanto, não é isto que acontece: a máquina de teletransporte lê todas as *informações* sobre a pessoa, que são os parâmetros quânticos de cada molécula da mesma, e envia os dados lidos para o lugar de destino, onde a pessoa é *reconstituída* usando os átomos (hidrogênio, oxigênio, carbono etc.) locais.



Embora o teletransporte de pessoas ou até de pequenos objetos esteja ainda muito distante, ele já é feito há vários anos com partículas e átomos, por diversos centros de pesquisa. O recorde de teletransporte atual é 143 quilômetros, feito pela European Space Agency<sup>170</sup>. E há planos de fazer um teletransporte para a *International Space Station* em breve<sup>171</sup>.

E qual é a relação entre teletransporte e criptografia quântica? A primeira resposta é que se teletransporta a chave da encriptação (por esta razão, a criptografia quântica é também conhecida como *quantum key distribution*, QKD<sup>172</sup>). A segunda resposta está relacionada com outra pergunta sobre o teletransporte: o que acontece com a partícula (ou pessoa) original? A resposta é que ela é *inteiramente destruída*. A razão é que a cópia, no lugar de destino, é *idêntica*, em nível atômico, à original. E, pelas regras da mecânica quântica, não podem existir objetos com exatamente os mesmos parâmetros quânticos<sup>173</sup>. Esta proibição é conhecida pelos físicos como “*no cloning theorem*”<sup>174</sup>, isto é, não se pode copiar uma informação que está sendo teletransportada.

<sup>170</sup> [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Technology/ESA\\_observatory\\_breaks\\_world\\_quantum\\_teleportation\\_record](http://www.esa.int/Our_Activities/Technology/ESA_observatory_breaks_world_quantum_teleportation_record)

<sup>171</sup> <http://dujs.dartmouth.edu/news/quantum-entanglement-experiment-to-take-place-aboard-the-international-space-station#.UidtMMbks54>

<sup>172</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_key\\_distribution](http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_key_distribution)

<sup>173</sup> Os leitores talvez lembrem das aulas de física o princípio de exclusão de Pauli, que não permite que os elétrons se amontoem em um mesmo orbital. A ideia é parecida.

<sup>174</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/No-cloning\\_theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/No-cloning_theorem)

O *no cloning theorem* fornece a característica atraente da criptografia quântica: se eu enviar uma informação por teletransporte, ela não pode ser “xeretada” por um espião. Se ele tentar, a informação será destruída, e o receptor será alertado que houve a tentativa de espionagem<sup>175</sup>.

Esta característica de invulnerabilidade à interferência tornou a criptografia quântica muito atraente para atividades que requerem alta segurança, e levou à criação de empresas especializadas neste tipo de serviço (ver figura abaixo).

Estes sistemas comerciais passaram por algumas “dores de crescimento”, por exemplo quando os “hackers” do MIT descobriram vulnerabilidades no sistema de fibra ótica que transmite as informações<sup>176</sup>, mas os problemas estão sendo resolvidos rapidamente. Por exemplo, foi anunciado há poucos dias que é possível usar criptografia quântica em telefones celulares<sup>177</sup> e em redes de computadores<sup>178</sup> (até

então, era necessário uma fibra ótica ponto a ponto) e mesmo em satélites<sup>179</sup>. Quando viabilizada, esta tecnologia vai dar uma “canseira” nos arapongas da NSA.

No caso do setor elétrico, uma aplicação importante da criptografia quântica é na proteção da infraestrutura de transmissão e distribuição contra sabotagem digital. A necessidade de proteção aumentará com a introdução dos chamados *smart grids*, que se baseia na comunicação extensa entre medidores, geradores e equipamentos nas residências e prédios (por exemplo, ar condicionado). Já existem pesquisas bastante avançadas no uso de criptografia quântica para proteção de *smart grids*<sup>180</sup>.



<sup>175</sup> Para quem tiver interesse no tema de teletransporte e criptografia quântica, recomendamos o livro *Dance of the Photons: From Einstein to Quantum Teleportation*, de Anton Zeilinger, que é o pesquisador líder nesta área.

<sup>176</sup> <http://www.technologyreview.com/view/418968/commercial-quantum-cryptography-system-hacked/>

<sup>177</sup> <http://physicsworld.com/cws/article/news/2013/sep/02/quantum-cryptography-is-coming-to-mobile-phones>

<sup>178</sup> *Nature* 501, 37–38 (05 September 2013) News and Views - Quantum information: Sharing quantum secrets.

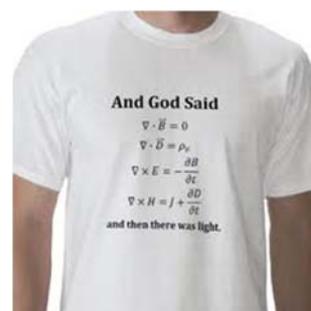
<sup>179</sup> <http://spectrum.ieee.org/aerospace/satellites/commercial-quantum-cryptography-satellites-coming>

<sup>180</sup> <http://www.lanl.gov/newsroom/news-releases/2013/February/02.13-quantum-cryptography.php>



## MAHATMA GANDHI, A MICROGERAÇÃO E O CONFAZ

A eletricidade está tão integrada ao nosso dia a dia (acionamento dos eletrodomésticos, iluminação, celulares, televisão etc.) que chega a ser difícil imaginar que estas tecnologias datam da véspera do século 20. Por exemplo, as equações de Maxwell (ao lado, em notação moderna) são de 1873; o rádio, de 1893; e a hidrelétrica de *Niagara Falls*, que inaugurou a era da geração centralizada, começou a operar em 1895.



Também é difícil imaginar que a eletricidade não “bombou” desde o início. A verdade é que muitos serviços urbanos já estavam bem estabelecidos, e as novas tecnologias precisaram se provar suficientemente superiores para justificar a migração – no caso da telecomunicação, por exemplo, havia a concorrência dos tubos pneumáticos<sup>181</sup>, que atendiam as grandes cidades desde o século 19 transportando cápsulas contendo mensagens, dinheiro, etc. Já a luz elétrica teve que enfrentar a iluminação a gás, que era barata e atingia todas as residências através de uma rede tão abrangente quanto a das distribuidoras atuais. A existência destas tecnologias e serviços bem estabelecidos fez com que os governantes não ficassem muito entusiasmados com a nova “fonte alternativa”. Em 1850, o então Ministro das Finanças da Inglaterra William Gladstone perguntou a Michael Faraday, um dos grandes pioneiros do eletromagnetismo: “qual é o uso prático da eletricidade?”. E Faraday respondeu: “Um dia, o senhor poderá taxá-la”<sup>182</sup>.

A profecia de Faraday foi mais do que confirmada no Brasil, um dos líderes mundiais da “exuberância impositiva” na energia elétrica. Da miríade de encargos e tributos que transformam nossa eletricidade de uma das mais baratas do mundo, do lado da geração, em uma das mais caras do mundo, quando chega ao consumidor final, o ICMS tem um lugar de destaque. No caso do Rio de Janeiro, por exemplo, o ICMS, sozinho, aumenta em 41% o custo da energia para o consumidor final<sup>183</sup>.

Embora a PSR obviamente concorde que os impostos são essenciais para o bom funcionamento dos serviços de saneamento, saúde, educação, etc. prestados à sociedade, acreditamos igualmente que:

<sup>181</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic\\_tube](http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_tube).

<sup>182</sup> “One day, sir, you may tax it”. Citado em *The Harvest of a Quiet Eye: A Selection of Scientific Quotations* (1977), p. 56.

<sup>183</sup> Embora a alíquota *nominal* do ICMS para energia elétrica seja 29% (consumo mensal > 300 kWh), a *maneira de calculá-lo* (conhecida como imposto “por dentro”) faz com que o incremento real seja 41%. Por exemplo, suponha que um produto custe 200 reais. Segundo a metodologia “por fora”, mais utilizada internacionalmente e mais intuitiva à primeira vista, o custo final para o consumidor, com imposto, seria:  $200 + 0,29 \times 200 = 258$  reais. No entanto, o ICMS *não* é calculado desta maneira: o custo final para o consumidor é  $200 / (1 - 0,29) = 282$  reais (!). Dividindo 282 reais pelo custo de 200, chega-se ao incremento real do ICMS:  $282 / 200 = 41\%$ .

É tão importante para a sociedade que o dinheiro arrecadado seja bem aplicado como que esta arrecadação seja *inteligente*, isto é, que aloque os impostos entre os diversos agentes de maneira a maximizar a eficiência econômica e social. No entanto, as evidências de que nosso “QI impositivo” é alto são um tanto precárias. No Rio, por exemplo, as alíquotas do ICMS cigarros e bebidas são *menores* do que a da energia elétrica<sup>184</sup>.

### A taxação do sal na Índia

Um exemplo histórico que ilustra os efeitos negativos de uma taxação mal feita e que, de quebra, mostra o embate entre a produção centralizada e descentralizada de um produto essencial é a “guerra do sal” entre o governo britânico e a população indiana. Embora o sal, hoje em dia, somente seja notícia devido aos malefícios à saúde devido ao excesso de consumo, ele é um produto essencial para o ser humano e, como tal, um dos favoritos para taxação no passado. Na China, por exemplo, os primeiros manuais de cálculo do “ICMS do sal” datam de 2.300 anos atrás. A arrecadação deste imposto chegou a representar metade da renda do governo chinês e financiou a construção da Grande Muralha. O sal foi igualmente importante para os romanos, haja vista a palavra “salário”<sup>185</sup>.

No caso dos ingleses na Índia, a taxação do sal foi a primeira grande fonte de renda da Companhia das Índias Orientais, a partir de 1759<sup>186</sup>. No entanto, a Companhia tinha um problema: o sal provinha de salinas e, quanto mais alto o imposto, maior o incentivo para o “auto abastecimento”, isto é, os indianos iam até os lugares em que o sal evaporava e recolhiam o necessário para o consumo próprio. Para compensar a queda da arrecadação, a Companhia aumentou a taxação. Como era de se esperar, isto incentivou a “micro produção”, isto é, os indianos recolhiam um extra para vender no “mercado negro” (mais precisamente, branco) de sal. Isto enlouqueceu a Companhia das Índias, que resolveu construir uma cerca de espinhos de 3 metros de altura, com guardas armados, e que se estendia por 4 mil quilômetros (ver figura ao lado) para coibir os contrabandistas de sal<sup>187</sup>.



Quando o governo britânico passou a administrar diretamente a Índia, a situação piorou, ao invés de melhorar: recolher qualquer quantidade de sal nas salinas passou a ser passível de prisão. A situação continuou “fedendo” até 1930, quando Mahatma Gandhi organizou uma marcha através da Índia com

<sup>184</sup> Embora a alíquota *nominal* do ICMS de bebidas possa chegar a 37% e o do fumo seja de 35%, um dispositivo posterior limita esta taxação a 26%, inferior, portanto, aos 29% da eletricidade.

<sup>185</sup> A primeira das grandes estradas romanas, a Via Salaria, foi construída para o transporte de sal. Os soldados que vigiavam esta estrada recebiam parte de seu pagamento em sal, chamado *salarium argentum*, isto é, “dinheiro (de argentum, que significa prata) de sal”, e o nome “pegou”.

<sup>186</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_British\\_salt\\_tax\\_in\\_India](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_British_salt_tax_in_India).

<sup>187</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Hedge\\_of\\_India](http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Hedge_of_India)

destino às salinas, onde recolheu um punhado de sal e declarou que, com aquele gesto, acabava o domínio do Império Britânico<sup>188</sup>. Como se pode imaginar, a polícia prendeu os milhares de manifestantes, inclusive Gandhi, mas já não tinha jeito: o gesto de Gandhi encorajou outras pessoas a desafiar o governo, e tornou-se um marco no processo que levou à independência da Índia.

---

<sup>188</sup> A marcha de Ghandi foi filmada e transmitida para o mundo inteiro, <http://www.youtube.com/watch?v=IjErHQGEHM>.



## RESOLUÇÃO CNPE Nº 3: O PREÇO E A PRESSÃO

### A importância dos preços de curto prazo

#### *Os preços otimizam a economia*

Na edição de fevereiro do ER, nós mostramos que os preços permitem o desenvolvimento eficiente dos produtos e serviços desejados pela sociedade, sem a necessidade de um planejador central. O fato de ser possível otimizar a produção sem uma inteligência maior é tão contraintuitivo que, no século dezoito, a eficiência dos mercados foi usada como argumento para a existência de Deus.

O Reverendo Richard Whately, autor do argumento, era professor de economia política na Universidade de Oxford. Ele se inspirou no raciocínio mais famoso para a existência de Deus, que é a metáfora do relojoeiro de William Paley. De acordo com Paley, se você encontrar um mecanismo tão intrincado como um relógio em um caminho, não vai pensar que ele é um produto da Natureza, como uma pedra, e sim, o produto de uma inteligência superior, de um relojoeiro. Dado que um organismo biológico é muito mais complexo do que um relógio, Paley concluiu que todos nós fomos feitos pelo Relojoeiro Mor.

Na mesma linha, Whately disse que é impossível que um sistema tão complexo como a economia possa atingir o resultado ótimo sem a orientação de um planejador. Dado que o ser humano não é o planejador, então é no braço de Deus que está a “mão invisível do mercado” (Adam Smith foi contemporâneo de Whately). A metáfora do relojoeiro era bastante sofisticada, e deixou os ateus bem enrolados até que Darwin entrou em cena. (O livro de Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker*, responde à metáfora de Paley mostrando um processo evolutivo que montaria um relógio.)

Até os dias de hoje, o processo que leva um comportamento mais complexo a “emergir” da interação de processos mais simples é objeto de pesquisas intensas, e motivou a criação de ferramentas matemáticas poderosas como a teoria da complexidade. Por exemplo, cada formiga, individualmente, é extremamente limitada. No entanto, o seu comportamento *conjunto* é tão sofisticado<sup>189</sup> que o biólogo E.O.Wilson, em seu livro *The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*, apresenta argumentos muito convincentes de que o formigueiro deveria ser tratado como um organismo individual, igual a um cachorro ou um gato.

Finalmente, o prêmio Nobel Robert Laughlin mostrou, em seu livro *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*, que as próprias leis fundamentais da física (gravidade, eletromagnetismo, mecânica quântica etc.) podem não ser tão fundamentais assim, e sim “emergirem” da interação de “grãos” elementares de espaço-tempo.

<sup>189</sup> Por exemplo, o processo que as formigas que encontram uma fonte de alimento usam para dar a “dica” do lugar às demais inspirou o algoritmo que faz o roteamento dos “pacotes de dados” da Internet.

### *Os preços induzem a alocação equitativa de custos e benefícios*

Além da eficiência econômica, os preços promovem a *alocação equitativa* de custos e benefícios entre os diversos agentes. Esta relação entre equidade e preços pode ser mostrada da seguinte maneira: (i) na edição de fevereiro do ER, nós mostramos que, a partir da solução de um problema de otimização, é possível calcular “preços sombra” que emulam, e em alguns casos até superam, a eficiência dos preços de mercado; (ii) por sua vez, na edição de março, foi visto que uma repartição equitativa equivale a uma solução viável de um conjunto de restrições lineares, conhecida como “núcleo de um jogo cooperativo”; (iii) finalmente, pode-se demonstrar<sup>190</sup> que, se uma repartição de custos e benefícios é proporcional aos preços sombra (“repartição marginal”), a mesma é uma solução viável do núcleo do jogo cooperativo e, portanto, uma repartição equitativa.

É interessante observar que o primeiro comentário registrado sobre a relação entre preço e equidade é do profeta Maomé, há 12 séculos. De acordo com o livro *Reinventing the Bazaar: A Natural History of Markets*, de John McMillan, uma seca em Medina resultou em forte aumento nos preços dos alimentos. A população pediu então a Maomé que decretasse um tabelamento de preços. Maomé respondeu: “Somente Alá pode interferir nos preços, pois os mesmos definem quem vai ser próspero ou quem vai ser pobre. E eu não quero ser acusado, perante Alá, de ter interferido na propriedade ou no meio de vida das pessoas”<sup>191</sup>.

---

<sup>190</sup> Ver, por exemplo, Eduardo Thomas Faria, "Aplicação de Teoria dos Jogos à Repartição da Energia Firme de um Sistema Hidrelétrico". Tese de Mestrado, PUC/RJ, 2004.

<sup>191</sup> Embora haja situações, comentadas na edição de fevereiro, em que os preços são manipulados por alguns agentes, as experiências “criativas” do Brasil, no passado, de combater a inflação através da erosão das tarifas públicas, do congelamento de preços e do confisco de todos os depósitos bancários mostram que Maomé foi bastante sábio.

Valor da Energia 1.235,59	Valor da Distribuição 842,34	Total 3.986,83
Tarifas em R\$/KWh sem impostos:		
Base de Cálculo Alíquota Valor (já incluído no preço)	ICMS R\$ 3.986,83 30% 1.196,05	TOTAL A PAGAR R\$ *****4.068,63
kWh	OUT2008 NOV2008 DEZ2008	JUL2009 AGO2009 SET2009 OUT2009

## O PREÇO DA ENERGIA, ESTE DESCONHECIDO

### A origem dos mercados e dos preços

Os mercados já existiam há dezenas de milhares de anos, antes da agricultura e da escrita<sup>192</sup>. Uma evidência disto é a descoberta, em sítios arqueológicos milenares, de artefatos feitos de materiais que só existiam a muitas centenas de quilômetros de distância<sup>193</sup>. Originalmente, as trocas eram feitas por escambo, isto é, uma vaca mais dois colares eram trocadas por duas cabras, três galinhas e quatro tigelas de barro. No entanto, o escambo tinha inconvenientes, tais como a dificuldade de troco (frações de produtos, tais como meia tigela ou um terço de galinha não eram em geral bem aceitos) e a necessidade de os comerciantes saberem as equivalências entre combinações de centenas de produtos. Por esta razão, o dinheiro, outra invenção milenar, teve um sucesso instantâneo em todas as civilizações, pois permitia que todos os produtos fossem referidos a uma única grandeza, o *preço* dos mesmos (além de facilitar os trocos)<sup>194</sup>.

Aos poucos, as pessoas foram percebendo que os preços e os mercados eram ainda mais úteis do que se imaginava, pois *signalizavam* a escassez dos produtos, e o quanto eles eram desejáveis. Esta sinalização (a “mão invisível”, na famosa imagem de Adam Smith) permitia que os agricultores, artesãos e comerciantes (e, posteriormente, as indústrias) fossem *eficientes*, isto é, produzissem e vendessem os artigos de maior utilidade para a sociedade, sem necessidade de um “comando e controle” centralizado<sup>195</sup>.

### Mercados versus planejamento centralizado

No entanto, alguns economistas (em geral, socialistas) tinham dúvidas se os mercados eram mesmo a maravilha apregoada. Além da existência de inúmeros casos de “mãozinhas especuladoras” que aumentavam artificialmente os preços, havia o caso intrigante das *empresas*<sup>196</sup>, que, embora fossem responsáveis pela maior parte da atividade econômica<sup>197</sup>, funcionavam de maneira oposta à teoria dos mercados: comando hierárquico e planejamento e decisões centralizadas sobre a quantidade a produzir

<sup>192</sup> Peter Watson, *Ideas: A History of Thought and Invention, from Fire to Freud*, Harper, 2006.

<sup>193</sup> Um exemplo interessante é a obsidiana, um vidro vulcânico cujas lascas têm arestas muito afiadas, usadas como lâminas das facas dos “ricos e famosos” de 40 mil anos atrás.

<sup>194</sup> Como em qualquer nova tecnologia, houve um processo de aprendizado no uso do dinheiro. Por exemplo, os maiores cientistas da história, tais como Arquimedes e Isaac Newton, trabalharam no problema de falsificação das moedas. Arquimedes saiu pelado da banheira gritando “eureka” porque tinha acabado de descobrir uma maneira de verificar se uma coroa real era de ouro, ou de uma liga de metais. Por sua vez, Isaac Newton foi por décadas diretor geral da Casa da Moeda inglesa, onde desenvolveu métodos usados até hoje para evitar várias falsificações e, de quebra, enviou para a força vários falsificadores (Thomas Levenson, *Newton and the Counterfeiter: The Unknown Detective Career of the World's Greatest Scientist*, Houghton Mifflin Harcourt, 2009).

<sup>195</sup> O livro *Vermeer's Hat: The Seventeenth Century and the Dawn of the Global World*, de Timothy Brook, mostra por exemplo como as porcelanas chinesas foram se modificando para atender ao gosto dos europeus.

<sup>196</sup> O verbete *Theory of the Firm*, na Wikipedia, historia as várias explicações dos economistas para a existência de empresas.

<sup>197</sup> Por exemplo, os Estados Unidos têm cerca de 6 milhões de empresas, que empregam 200 milhões de pessoas e controlam ativos de 20 trilhões de dólares (*Economist*, de 28 de fevereiro de 2013).

e os recursos a alocar<sup>198</sup>. Estas dúvidas levaram a um debate intenso, a partir da década de 1920, sobre o chamado “problema do cálculo econômico”<sup>199</sup>: uma “mão visível” do governo, planejando e atuando de maneira semelhante à das empresas, seria ou não mais eficiente do que a mão invisível do mercado?

O expoente dos “mercadófilos”, Friedrich Hayek<sup>200</sup>, formulou a eficiência econômica como um problema de otimização na alocação de recursos e na definição de quantidades a produzir e argumentou que a única maneira de resolver este problema era indireta e descentralizada, através de preços e mercados. Os “planófilos”, por sua vez, contra argumentaram que qualquer problema de otimização poderia em teoria ser resolvido diretamente, em termos de quantidades e produtos, sem passar pelo “desvio” dos preços. Em outras palavras, a viabilidade do planejamento centralizado não seria uma questão de princípio, e sim de capacidade computacional (é importante lembrar que, na época, as pessoas nem sonhavam com a existência de computadores).

Em sua tréplica, Hayek refinou seu pensamento: o que impossibilitaria o planejamento centralizado não era o problema de otimização em si, e sim *coletar* os “dados de entrada” (coeficientes e valores do lado direito das restrições) para o mesmo. A razão é que muitos destes dados de entrada refletem as preferências e valores dos agentes econômicos, e este conhecimento está *disperso* por toda a sociedade. (Será visto posteriormente que este argumento, conhecido como “problema do conhecimento”, está relacionado com a decisão de contratar capacidade através de leilões no modelo do setor elétrico).

### A Gosplan e a otimização da economia

Enquanto os economistas se esbaldavam com os debates<sup>201</sup>, a União Soviética resolveu implementar um planejamento centralizado “macho man”, sem utilizar preços. A agência responsável por este planejamento, traduzido em Planos Quinquenais, foi a Gosplan<sup>202</sup>. Embora a Gosplan tivesse matemáticos de altíssima qualidade em seus quadros, a metodologia utilizada nos planos das décadas de 1930 e 1940 não era grande coisa, basicamente uma matriz insumo-produto, mas sem qualquer otimização. (Os três expurgos seguidos feitos por Stalin nos quadros técnicos da Gosplan<sup>203</sup> possivelmente não ajudaram muito a aperfeiçoar a metodologia).

No final da década de 1950, a situação havia melhorado. A União Soviética liderava várias áreas de ciência e tecnologia, cujo maior símbolo foi o lançamento do primeiro satélite artificial do mundo, o Sputnik, em 1957. Na Gosplan, os técnicos começaram, finalmente, a resolver o planejamento como um problema de otimização<sup>204</sup>. No entanto, a capacidade computacional disponível ainda era insuficiente para representar todas as restrições do problema<sup>205</sup>. Foi aí que Leonid Kantorovich, um dos maiores

<sup>198</sup> É interessante observar que uma razão frequentemente mencionada para o sucesso de empresas como a Apple, Google e Amazon é terem um controle centralizado quase ditatorial, pois isto permite que elas tenham um planejamento de longo prazo e não cedam a pressões dos acionistas (que, ironicamente, representam o “mercado”) para um retorno imediato.

<sup>199</sup> Wikipedia, *Economic Calculation Problem*.

<sup>200</sup> Como mostrado por Sylvia Nasar no livro *Grand Pursuit: The Story of Economic Genius* (Simon and Schuster, 2011) os grandes economistas liberais das décadas de 1930 e 1940, tais como Hayek e Milton Friedman, eram muito mais sofisticados e pragmáticos do que as caricaturas ideológicas difundidas pelos políticos conservadores norte-americanos.

<sup>201</sup> E continuam se esbaldando até hoje. Por exemplo, um comentário do Paul Krugman, há algumas semanas, de que a “escola austríaca” (apelido das ideias econômicas de Hayek e seguidores) tinha alguns problemas, foi colocado no verbete “Austrian School” da Wikipedia. Isto foi o suficiente para gerar uma profusão de edições do verbete, xingando e defendendo o Krugman. A bagunça foi tal que a coordenação da Wikipedia “congelou” o verbete até o dia 28 de fevereiro de 2013.

<sup>202</sup> Gosplan é a abreviação de “Gosudarstvennyy Komitet po Planirovaniyu”, Comitê Governamental para Planejamento. Esta abreviação foi utilizada desde sua criação.

<sup>203</sup> Paul R. Gregory, *The Political Economy of Stalinism: Evidence from the Soviet Secret Archives*, CUP, 2004.

<sup>204</sup> As descrições a seguir foram extraídas do excelente livro *Red Plenty*, de Francis Spufford (Faber and Faber, 2010). O tema central do mesmo é a otimização econômica na Gosplan, e o texto é uma combinação única de alta qualidade literária, matemática e economia. Os redatores do ER recomendam fortemente sua leitura a quem tiver interesse nestes temas.

<sup>205</sup> A primeira tentativa de contornar esta limitação foi agregando as equações. O resultado, no entanto, foi que não era possível definir as quantidades de cada produto com o detalhe necessário. De uma maneira muito simplificada, o modelo

matemáticos do país, encontrou um método de solução genial: ele *decompôs* o “problemão” de planejamento em vários subproblemas menores, que eram resolvidos iterativamente, até chegar à solução ótima global. Só que havia um pequeno detalhe, que levou a direção da Gosplan a chamá-lo para uma “conversinha”: eles tinham acabado de perceber que o ponto central do método do Kantorovich era que, a cada iteração, os subproblemas calculavam um conjunto de “parâmetros de coordenação”, que eram utilizados para aperfeiçoar o plano. O detalhe era que estes parâmetros estavam expressos em “rublos por unidade”, o que era suspeitosamente parecido – para não dizer idêntico – aos malfadados preços de mercado. Em outras palavras, Kantorovich tinha acabado de demonstrar que Hayek tinha razão, e que os preços eram suficientes para otimizar a economia...

Por razões óbvias, a direção da Gosplan não ficou muito animada para avisar o governo sobre esta “buemba”, e resolveu não usar, nem divulgar, o método do Kantorovich. Como consequência, este método foi redescoberto, de forma independente, por dois pesquisadores americanos, George Dantzig e Philip Wolfe<sup>206</sup>. Só bem mais tarde a contribuição original de Kantorovich foi conhecida, e reconhecida, com o prêmio Nobel de Economia, o único dado a um russo<sup>207</sup>.

### Os preços “sombra” e o planejamento centralizado

Dantzig foi um gênio do mesmo calibre que Kantorovich, com contribuições fundamentais em várias áreas da otimização e da economia<sup>208</sup>. Uma destas contribuições foi mostrar que os parâmetros de coordenação do método de Kantorovich poderiam ser interpretados como *preços perfeitos*, isto é, que resultariam de uma economia sem especulação, onde todos os agentes econômicos tivessem conhecimento completo de todas as informações<sup>209</sup>. (Por esta razão, Dantzig chamou de *preços sombra*<sup>210</sup>, em seu método de otimização, o equivalente aos parâmetros de Kantorovich.)

Dado que o mercado na vida real não é perfeito, Dantzig concluiu que o planejamento centralizado seria mais eficiente, e desenvolveu um modelo de otimização para toda a economia americana, conhecido como PILOT. Em resumo, o “comunista” Kantorovich mostrou que o mercado funciona, e o “capitalista” Dantzig mostrou que planejamento é ainda melhor. Como se pode imaginar, o chique dos economistas americanos com a Gosplan do Dantzig foi ainda maior do que o da direção da verdadeira Gosplan com o mercado do Kantorovich. Segundo as más línguas, a heresia econômica do Dantzig fez com que ele nunca recebesse o (mais que merecido) prêmio Nobel de economia.

---

agregado calculava que era necessário produzir X veículos, mas não conseguia dizer quantos dos mesmos eram bicicletas, e quantos eram caminhões.

<sup>206</sup> Este método é conhecido como decomposição de Dantzig-Wolfe.

<sup>207</sup> O economista Wassily Leontief, autor da metodologia de matriz insumo-produto, também é de origem russa. No entanto, toda sua carreira profissional foi nos Estados Unidos, para onde emigrou em 1931.

<sup>208</sup> P.E.Gill, W.Murray, M.A.Saunders, J.A.Tomlin and M.H.Wrigh, *George B. Dantzig and Systems Optimization*, 2007, <http://www.stanford.edu/group/SOL/GBD/GBDandSOL.pdf>

<sup>209</sup> Ver o comentário anterior sobre o “problema do conhecimento” de Hayek.

<sup>210</sup> Na nomenclatura de otimização linear, os preços sombra são conhecidos como “multiplicadores simplex”. A razão é que eles são análogos aos multiplicadores de Lagrange dos problemas não lineares.



## SEGURANÇA DE SUPRIMENTO: O ESTRUTURAL E O CONJUNTURAL

Desde que Adão e Eva responsabilizaram a serpente por terem comido a maçã, o ser humano vem tentando, com notável persistência, culpar as divindades ou a natureza pelas besteiras que faz. Por exemplo, há quase 2.500 anos o imperador persa Xerxes I construiu, com grande esforço, uma ponte através do Estreito de Dardanelos para invadir a Grécia. No entanto, a ponte foi destruída por uma tempestade. De acordo com o historiador Heródoto, Xerxes ordenou que a água do Estreito fosse punida com trezentas chibatadas, acompanhadas por vaia dos soldados. Para evitar que a água fugisse do castigo, Xerxes jogou antes no mar várias algemas. Mais recentemente, na Idade Média, os habitantes da região de Navarra, na Espanha, iniciaram a tradição de pedir chuvas a São Pedro, levando a estátua do santo em procissão pelas ruas. No entanto, se São Pedro não “mostrasse serviço”, a estátua era jogada no leito (presumivelmente seco) de um rio<sup>211</sup>.

Aos poucos, a humanidade foi percebendo que chicotear o mar ou bater em estátuas não era muito eficaz, e começou a construir pontes, estradas, edifícios etc. que fossem *menos vulneráveis* à ocorrência de condições adversas da natureza. No entanto, volta e meia reaparece a tentação de culpar os elementos quando ocorre algum problema. É para coibir esta tentação que, recentemente, a presidente Dilma afirmou que “dizer que um raio causou um blecaute é motivo de gargalhadas”. Como bem argumentado pela presidente, os raios são uma parte integral das chuvas que alimentam nosso sistema hidrelétrico. Portanto, seria uma insanidade imaginar que os projetos de linhas de transmissão e subestações não contêm “blindagens” contra a ocorrência dos mesmos.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, quem lida com geração hidrelétrica desde os tempos de Dom Pedro II<sup>212</sup>, como é o caso do Brasil, sabe que as chuvas podem, ocasionalmente, ser muito escassas. Portanto, é impensável que nosso sistema de geração não seja projetado para resistir a uma seca severa. De fato, até meados da década de 1980, o *critério de planejamento* do sistema de geração, conhecido como “energia firme”, era de não haver problemas de suprimento mesmo que ocorresse *a pior seca registrada no passado*<sup>213</sup>. De lá para cá, o critério de planejamento passou a ser probabilístico<sup>214</sup>, mas se traduz igualmente em uma blindagem contra a ocorrência de secas extremamente severas.

<sup>211</sup> Verbete “Weather Modification”, Wikipedia.

<sup>212</sup> A usina de Marmelos, em Minas Gerais, foi inaugurada pelo imperador Pedro II em 1889.

<sup>213</sup> O registro histórico de vazões começa em 1931. Isto significa que, em 1986, quando houve a mudança de critério de energia firme para um critério probabilístico, tínhamos 56 anos de vazões observadas. De uma maneira  *muito simplificada*, estar protegido contra a pior seca dos últimos 56 anos significa que a *confiabilidade de suprimento* na época era  $(1 - 1/56) \approx 98\%$ . Em outras palavras, havia uma probabilidade de 2% de ocorrerem secas mais severas do que a do histórico.

<sup>214</sup> O critério probabilístico de suprimento que substituiu a energia firme, conhecido como “energia garantida”, estabelecia que 95% dos (milhares de) cenários hidrológicos simulados não deveriam ter qualquer problema de suprimento. Apesar de haver razões técnicas sólidas para substituir o critério de energia firme, é interessante observar que o novo critério levava a uma segurança de suprimento *pior* do que o de energia firme (como visto na nota de rodapé 213, a confiabilidade de suprimento implícita do critério de energia firme era 98%, ao invés de 95%). A razão é que o Brasil estava na ocasião em severa crise econômica, resultante do segundo choque do petróleo de 1979, e os reforços de geração planejados sempre atrasavam. Como consequência, a confiabilidade real era muito pior do que a planejada. De certa forma, a redução de 98% para 95% no critério de confiabilidade procurava criar metas mais realistas para o setor. Em 2009, o critério de planejamento foi substituído por um critério econômico, baseado na igualdade entre o custo marginal de expansão (CME) e o valor esperado do custo marginal da operação (CMO). Como mostrado pela PSR em edições anteriores do ER, este novo critério equivale, em termos de segurança de suprimento, a uma confiabilidade de 97%, já bem próxima à do critério de energia firme original.



## O SUSTO, O BENEFÍCIO E O CUSTO

Na edição especial de janeiro de 2013 do ER, a PSR mostrou que a estratégia de gerência de riscos baseada no “chicote” (por exemplo, punir as divindades quando falhavam em providenciar chuvas) não se mostrou muito eficaz no passado. No entanto, não chegamos a analisar o histórico da estratégia oposta ao “chicote”, que é a “cenoura”, isto é, tentar agradar os deuses para que nos favoreçam.

Os antigos romanos foram os grandes expoentes da “cenoura”, através da construção de templos dedicados a cada divindade, acompanhados por festivais e oferendas. Em particular, construíram vários templos para a deusa da sorte, chamada *Fortuna*<sup>215</sup>. Um aspecto interessante do culto à Fortuna é que os romanos acreditavam que ela tinha um xodó especial por pessoas de boas qualidades morais (*virtu*, em Latim, origem da palavra virtude). Os governantes romanos, que não eram bobos, diziam que tinham *virtu* à beça e, portanto, que eram os queridinhos da deusa. Um deles, o rei Servius Tullius, chegou a espalhar que Fortuna era casada com ele (presumivelmente de papel passado). Em resumo, os romanos acreditavam que as divindades poderiam ser influenciadas pelas boas qualidades humanas, complementadas por uns “agradinhos” aqui e ali.

Um milênio depois, já na Renascença, Maquiavel (aquele mesmo, do adjetivo “maquiavélico”) causou uma reviravolta nos conceitos de *Fortuna* e *virtù* (agora com acento)<sup>216</sup>. Inicialmente, Maquiavel argumentou que Fortuna não dava colher de chá para ninguém. Para isto, utilizou como exemplo o transbordamento de um rio, que afoga tanto malvados como bonzinhos. A partir daí, ele concluiu que o governante com *virtù* não é necessariamente o de bom coração, e sim o que *protege* os governados contra as adversidades da natureza, construindo (no caso) diques contra as enchentes.

Os argumentos de Maquiavel foram um “divisor de águas” (sem trocadilho) entre a visão multi-milenar de que os deuses controlavam nosso destino e a visão moderna de que a natureza é *aleatória*, e que o ser humano deve *planejar* e construir defesas contra “sorteios” adversos da mesma<sup>217</sup>.

O grande aperfeiçoamento metodológico desde então é o entendimento de que é impossível se proteger contra *todos* os eventos adversos imagináveis. Neste caso, o que se deve fazer é encontrar a melhor *relação* (“tradeoff”) entre o *custo* desta proteção e a probabilidade, ou *risco*, de ocorrerem eventos mais *severos* do que os evitados pela proteção.

<sup>215</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Fortuna>.

<sup>216</sup> Niccolò Machiavelli, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/machiavelli/#3>.

<sup>217</sup> É devido a esta mudança fundamental no entendimento da natureza que Peter Bernstein intitulou seu excelente livro “Against the Gods: The Remarkable Story of Risk”.

## **SOBRE O ENERGY REPORT PSR**

O Energy Report é um boletim mensal desenvolvido pela PSR com o principal objetivo de analisar temas relevantes do setor de energia elétrica no Brasil. Ele é publicado eletronicamente há cinco anos, em português e inglês, e segue a seguinte estrutura padronizada:

**Opinião** – esta seção coloca em destaque um tema atual e relevante do setor elétrico, selecionado pela PSR para um estudo mais profundo e discussão. Uma lista de assuntos trabalhados em edições recentes está disponível abaixo.

**Regulatório** - é feito um levantamento e análise da atividade recente do poder público sobre o setor elétrico. As decisões tomadas e documentos publicados são interpretados pela PSR, e seu impacto sobre o setor é avaliado.

**Internacional** – trata especificamente de temas internacionais ligados ao setor elétrico, selecionados pela PSR para uma discussão mais detalhada.

**Jurídico** – seção sob a responsabilidade de nossos parceiros da Advocacia Waltenberg, trata de temas jurídicos do setor elétrico sob um prisma ligeiramente diferente da PSR.

**Recursos Hídricos e Meio Ambiente** – trata especificamente de temas ambientais ligados ao setor elétrico, com ênfase no acompanhamento dos processos de licenciamento.

**Suprimento** – apresenta um panorama do sistema elétrico para os próximos anos, com apresentação de balanços de oferta e demanda, balanços de ponta, e vazões projetadas. Temas que representam riscos à segurança de suprimento são discutidos.

### **Assinatura e acesso**

A assinatura anual do Energy Report compreende 12 (doze) edições eletrônicas mensais e pode ser feita através do telefone (21) 3906 2100, ou do email: [energyreport@psr-inc.com](mailto:energyreport@psr-inc.com);

O acesso a nossas edições é restrito e o assinante deve cadastrar-se no portal de serviços da PSR. Sempre que uma nova edição é publicada, os leitores registrados receberão uma notificação por email e, acessando o portal da PSR, poderão fazer download dos arquivos. As edições anteriores estarão permanentemente disponíveis no portal de serviços da PSR.

### **Temas analisados em edições anteriores**

Edição 119 – The Marrakesh express: viabilidade e custo dos compromissos do Brasil

Edição 118 – Outubro 2016: Gás para crescer: harmonização do setor elétrico e de gás natural

Edição 117 – Setembro 2016: A saga da aversão ao risco, episódio V

Edição 116 – Agosto 2016: O decreto 8.828 e a lei das consequências inesperadas

Edição 115 – Julho 2016: Projeto de portabilidade: o demônio mora nos detalhes...

Edição 114 – Junho 2016: Vazão do São Francisco: tema que continua tirando nosso sono

Edição 113 – Maio 2016: Compromissos da COP 21: como cumprir as promessas do governo?

Edição 112 – Abril 2016: ONS e modelo computacional: é hora de discutir (de novo) a relação?