

Contribuição Escrita à CJSUBIA

Andréa Naccache <andrea@andreanaccache.com>

sex 10/06/2022 11:31

Para:CJSUBIA <CJSUBIA@senado.leg.br>;

Cc:Virginia Chaitin <virginia.mfgc@gmail.com>; "Felipe S. Abrahão" <felipesabrahao@gmail.com>; Andréa Naccache <andrea@andreanaccache.com>;

 2 anexos

Nota Técnica CJSUBIA Abrahão Naccache Chaitin jun22.pdf; ATT00001.htm;

Você não costuma receber emails de andrea@andreanaccache.com. [Saiba por que isso é importante](#)

Prezados Juristas da CJSUBIA,

Acompanhamos com muito entusiasmo o avanço das atividades da Comissão.

Anexa, Nota Técnica elaborada por nós em consideração à abertura da Comissão a contribuições escritas.

Com admiração e gratidão pelo trabalho da Comissão por nosso país,

Andréa Naccache
Felipe Abrahão
Virginia Chaitin

Regulação da **Inteligência Artificial** *no Brasil*

Uma perspectiva:

Teoria da Informação Algorítmica

Fundamentos, métodos, aplicação

Nota técnica à CJSUBIA

Comissão de Juristas responsável por subsidiar a elaboração de minuta de substitutivo para instruir a apreciação dos Projetos de Lei nºs 5.051, de 2019, 21, de 2020, e 872, de 2021, que têm como objetivo estabelecer princípios, regras, diretrizes e fundamentos para regular o desenvolvimento e a aplicação da inteligência artificial no Brasil.

PESQUISADORES RESPONSÁVEIS

Felipe Sobreira *Abrahão*

Andréa Martos *Naccache*

Virginia Maria Fontes Gonçalves *Chaitin*

Junho | 2022

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
PESQUISADORES	7
NOTA TÉCNICA	8
Introdução	8
Uma reflexão sobre a aplicabilidade dos valores modernos à IA	10
Código aleatório ou ordenado: uma distinção esclarecedora	13
A redução de complexidade enquanto redução de escolha	15
Alguns sugestivos exemplos	16
A tecnologia para efetivação da abordagem aqui recomendada	19
O que os softwares poderiam responder	21
Síntese de nossas considerações	22
Referências bibliográficas	26
Vídeos de esclarecimento da Nota Técnica	28
ANEXO	29

APRESENTAÇÃO

Uma "revolução gráfica". Foi com esta vigorosa expressão que o epistemólogo Jean Lassègue e o magistrado Antoine Garapon explicaram o impacto da computação na comunicação humana no último século (GARAPON; LASSÈGUE, 2018).

Eles reconhecem um marco histórico no surgimento de recursos tecnológicos para tratar toda linguagem: a utilização de um único código simples – feito apenas de zeros e uns – porém universal, i.e. capaz de emular qualquer outro código e de traduzir qualquer linguagem simbólica, que acolhe então todo cômputo possível, todo rico idioma, toda linguagem artificial, e pode registrar qualquer menor distinção feita pelo ser humano.

Não é raro, porém, esquecermos que a tecnologia contemporânea tem esta raiz tão simples. Os legisladores de nosso tempo, no desafio de normatizar a criação e o uso de conteúdos digitais, de redes e plataformas ou de *softwares* mais avançados (como a chamada « inteligência artificial »), parecem reconhecer antes as diferenças entre estes fenômenos que sua raiz comum, a « revolucionária » forma de processamento de linguagem, baseada na computação (cálculo) de um elementar código binário. Estamos em geral embaraçados com a multiplicidade de estruturas complexas e expressões da tecnologia, a inquietante opacidade de seus processamentos, e a variabilidade de seus *outputs*, especialmente quando eles afetam saúde, educação, emprego, crédito e segurança, com tamanho potencial de erro e injustiça em escala.

Nos anos 1960 e 70, expoentes da matemática tiveram a lucidez de parar e olhar estas tecnologias pelo que as constitui de mais fundamental: arranjos de zeros e uns. Às vezes, zeros e uns ordenados por programas (regras), às vezes dispostos em sequências meramente aleatórias. Especialmente três matemáticos descobriram a importância disto, enquanto pioneiros da *teoria da informação algorítmica*: Ray Solomonoff, Andrey Kolmogorov, Gregory Chaitin. Com esta teoria, podemos distinguir os sistemas computacionais entre mais e menos complexos, pela quantidade de *bits*, na tradição de Claude Shannon. Hoje, temos à disposição a medida de complexidade algorítmica, ou complexidade Kolmogorov-Chaitin (K),

universalmente aplicável a qualquer sistema computacional, que sinaliza maior ou menor presença de aleatoriedade nos códigos -- quanto maior a aleatoriedade de um código, menos ele pode ser compactado (por regras finitas), mais complexo ele será (CHAITIN, 1987, 2005; CALUDE, 2002; DOWNEY; HIRSCHFELDT, 2019).

A presente nota técnica vem indicar a importância desta única distinção, simples de compreender, entre código ordenado e aleatório, para a regulamentação da IA contemporânea. Vem recomendar que o Legislativo brasileiro se dê o tempo de entender por que esta distinção importa, e como ela pode ajudá-lo a criar uma norma para IA mais **lúcida, eficiente, abrangente e estável** que as propostas e discutidas internacionalmente hoje, feitas por legisladores estrangeiros consternados diante da multiplicidade de expressões e *outputs* de IA, esquecidos de que estamos falando de substância única e universal, ainda que complexa em suas expressões.

Adiantamos, desde já, que o motivo pelo qual importa olhar o código binário e nele, a distinção entre sequências ordenadas e aleatórias, é, neste momento, para nós, eminentemente jurídico: **uma máquina jamais escreverá sozinha uma sequência de código aleatória** (não importa a força futura da inteligência artificial). Na diferença entre o ordenado e o aleatório dos códigos internos aos sistemas reside a distinção entre o que foi feito pelo programa original da máquina, sob o comando remoto de um ser humano, e todas as outras interferências, perturbações, criações e acréscimos humanos posteriores. **O código aleatório é a assinatura do humano nos sistemas digitais.** A clareza sobre isto pode facilitar muito não apenas uma **regulação geral de IA**, que consideramos possível e conveniente, mas também futuramente o juízo que há de ser feito sobre o impacto de cada máquina, conforme cada intervenção de seus múltiplos e dispersos "autores".

A distinção, portanto, será útil no endereçamento de obrigações e penalidades, mas também na oferta de garantias àqueles que experimentam sistemas em busca de soluções tecnológicas para a humanidade. Mais que isto, a distinção será útil por sua significação mais profunda: quando comparamos sistemas em termos de complexidade (K), quanto maior a carga de código aleatório ali presente, podemos saber que mais **liberdade** foi dada aos humanos na programação. Se nós aprendermos a "sopesar" esta liberdade (em *bits*, por exemplo, pela noção de K), **podemos examinar sistemas, em muitos sentidos, como hoje examinamos contratos:** comparando quanta liberdade cada sistema concede a cada pessoa, a qual nível de estereotipia ou sujeição uma plataforma submete seus subscritores, e até mesmo que tipo de *equilíbrio* de liberdades existe entre as partes em um sistema.

A tecnologia para "sopesar" o volume em *bits* de liberdade de cada pessoa em sistemas complexos já existe. Ela compara o volume de código ordenado e aleatório em um sistema a partir de um critério simples, universal e uniforme: o código aleatório, ao contrário do ordenado, é *incompressível* por qualquer *software*. Aleatório é o que sobra depois de qualquer tentativa de compressão. No entanto, nenhum legislador no mundo — ao que nos parece — sabe que é possível usar este recurso, ou compreendeu a significação desta teoria. O Brasil pode ser inovador nisto.

Não à toa: esta preciosa novidade conceitual que emergiu nos últimos 60 anos, a *teoria da informação algorítmica*, e, dela, especialmente o pensamento de Gregory Chaitin, tem uma genealogia ligada à inteligência de nosso país. Depois de desenvolver os princípios de seu pensamento nos Estados Unidos, onde nasceu, e avançar por três décadas o desenvolvimento de tecnologia e de suas próprias ideias no Centro de Pesquisas Watson-IBM em Yorktown Heights, estado de Nova Iorque, Chaitin tem vivido no Rio de Janeiro e colaborado intensamente sobretudo com nossos professores Francisco Antonio Doria e Newton da Costa (DA COSTA, 2001; CHAITIN; DORIA; DA COSTA, 2011). O pensamento de Chaitin, no Brasil, fez escola e parcerias de pesquisa entre nós, que subscrevemos esta Nota Técnica (um artigo de Newton da Costa sobre Chaitin para a Folha de São Paulo, acima referido, segue anexo).

A primeira tese a introduzir o conceito de aleatoriedade algorítmica à reflexão jurídica e ao campo de discussão de teoria da justiça de que temos notícia é de maio de 2021, e foi defendida na Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, com orientação de Celso Campilongo e avaliação de Tercio Sampaio Ferraz Junior (NACCACHE, 2021). Esta tese está referenciada na *Teoria da Norma Jurídica* de Ferraz (1986), para pensar estruturas de linguagem legítimas enquanto estruturas de *diálogo*.

Se este virtuoso recurso teórico — o conceito de aleatoriedade algorítmica — puder ser aproveitado na construção de uma necessária norma *geral* para a IA, *basilar* em face da diversidade da tecnologia, como acreditamos ser o caso, o Brasil tem condições especiais para descobrir como fazê-lo antes de qualquer outro país. Se as tecnologias nascidas da *teoria da informação algorítmica* puderem ser usadas por agências reguladoras e o Judiciário para auditar, avaliar e comparar sistemas, a rede de especialistas mais capazes de implementar estas tecnologias já tem uma sede de

atuação no país. Talvez o Estado brasileiro possa mesmo exportar conhecimento e soluções.

A força desta proposta é a de **regular a matemática com matemática, a tecnologia com tecnologia**, não somente com princípios abstratos e regras em linguagem natural. Tais princípios e regras restam intraduzíveis em código binário e, por isto, orientam pouco o desenvolvedor em cada linha escrita de uma programação que não se sabe que *output* trará. **A matemática da teoria da informação algorítmica traduz para o programador, em números, regras e códigos aplicáveis a priori (não apenas auditáveis a posteriori), os estimados princípios que hoje desejamos que regulem a criação e o uso da IA**, entre eles especialmente os voltados à preservação da autonomia e da agência dos usuários, à transparência e ao equilíbrio nas relações que a IA afinal *conforma* entre as pessoas. Esta teoria permite alcançarmos uma versão matemática de princípios éticos e jurídicos, para regulação **estável e uniforme** da programação de IA, aplicável pelo Judiciário em qualquer ponto do país, em qualquer tempo.

PESQUISADORES

Matemática, Ciência de Sistemas Complexos, Epistemologia

Felipe S. Abrahão é pesquisador pós-doutoral no Data Extreme Lab (DEXL), parte do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), Petrópolis, Brasil, e pesquisador associado no Algorithmic Nature Group, LABORES for the Natural and Digital Sciences, Paris, França, e no projeto tecnológico AUTOMACOIN, disponível em <<https://www.automacoin.com/>>. Seus interesses de pesquisa atuais estão no estudo de propriedades e limites fundamentais que desempenham um papel dominante na ciência de dados, inteligência artificial e redes de sistemas complexos. Possui doutorado e mestrado interdisciplinar pelo Programa de Pós-graduação em História das Ciências das Técnicas e Epistemologia, parte do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza na UFRJ, sob a orientação do Prof. Dr. Gregory Chaitin e Prof. Dr. Francisco Antonio Doria, obtidos em 2015 e 2011, respectivamente. Possui bacharelado em matemática pela UFRJ obtido em 2008.

Filosofia do Direito, Psicanálise e Inovação

Andréa Martos Naccache é doutora em Filosofia e Teoria Geral do Direito pela FDUSP, sob orientação do Prof. Titular Celso Fernandes Campilongo. É MBA em Finanças pela FGV. Advogada, psicóloga e psicanalista clínica, atua entre estas especialidades na promoção de condições de inovação para empresas. Seu livro *Criatividade Brasileira* foi finalista do prêmio Jabuti de literatura e selecionado pelo Museu da Casa Brasileira. Sua pesquisa sobre a relação entre aleatoriedade algorítmica e justiça trouxe convites a discussões em Stanford por três anos consecutivos.

Epistemologia e Lógica

Virginia Maria Fontes Gonçalves Chaitin é epistemóloga, especializada em pesquisas inter e transdisciplinares, havendo proposto em sua tese de doutoramento pela UFRJ (Programa de Pós-graduação em História das Ciências das Técnicas e Epistemologia) uma metodologia de pesquisa específica para avaliação da validade epistêmica de migrações conceituais entre disciplinas. Sua formação inclui curso de pós-graduação *lato sensu* em Análise de Sistemas pela UERJ, mestrado em Lógica e Metodologia da Ciência pela London School of Economics e mestrado em Filosofia - Teoria do Conhecimento pela PUC/Rio. Atua como pesquisadora independente, possui numerosas publicações nacionais e internacionais, sendo convidada a participar de bancas de defesa de dissertações e teses bem como de palestras dentro e fora do ambiente acadêmico.

NOTA TÉCNICA

Introdução

Alguns impasses perturbam o tratamento normativo da inteligência artificial (IA). Um primeiro e mais geral vem da tensão entre o que se busca na legislação – generalidade, com também uniformidade no tratamento de qualquer matéria, para acolhimento isonômico dos casos – e a condição atual de desenvolvimento da IA: as expressões de IA são múltiplas e, em busca de inovação, é desejável que venham nos surpreender ainda mais suas soluções futuras.

Impasse de *generalidade*

Condição | Generalidade como melhor vocação da *lei*
Impasse | *Multiplicidade e dinamismo* do fenômeno da IA

A esta pluralidade de manifestações de um mesmo objeto, soma-se o fato de que os estudos neste campo voltam o olhar muito mais à classificação e à exploração das diferenças entre as máquinas que ao reconhecimento do que há de muito obviamente comum entre elas. Novos recursos tecnológicos vêm de diferenciações, e é isto que nos brilha aos olhos.

A ansiada diferenciação e a pluralidade de aplicações de IA tem criado uma tentação imediata, para os grupos de autorregulação e legisladores de IA ao redor do mundo, de restringir seus textos normativos a princípios e regras pouco determinadas, e depois delegar a supervisão dos *outputs* a especialistas, em variados arranjos institucionais, conforme o contexto regulatório já existente em cada local.

Sob este primeiro impulso, um certo consenso parece já existir hoje em torno de algumas fórmulas fundamentais para a regulação de IA, inevitavelmente manifestas em linguagem aberta à interpretação: equidade, justiça, segurança, transparência, não-discriminação, diversidade, responsabilidade, explicabilidade. É um importante primeiro passo.

Sabe-se, no entanto, que estas fórmulas legarão um problema interpretativo aos desenvolvedores de tecnologia regulados por estes textos, que não poderão

balizar bem sua conduta: restarão sem muita clareza sobre quais garantias lhes cabem ou quais vedações os constroem, conforme escrevem cada linha de programação. Desenvolvedores têm ciência de que **o código digital não consegue não discriminar**. Programas não conseguem ser, em qualquer tempo, perfeitamente equitativos e justos com a diversidade humana, e tampouco operam de modo tão efetivamente transparente e explicável. Quando os próprios *outputs* das máquinas levam a consequências não-intencionais, a ausência de balizas claras de conduta condena a regulação a estar tendencialmente *atrasada* em relação aos danos causados pelas máquinas. É um segundo impasse relativo à regulação de IA, derivado do primeiro.

Impasse *temporal*

Condição | Abertura *interpretativa* do quadro normativo

Impasse | A regulação da conduta acaba acontecendo *a posteriori*, após eventuais *danos em escala*

Textos normativos assim são problemáticos também para as instâncias públicas e sociais de auditoria e julgamento das condutas humanas ligadas à IA, quando elas enfrentam o trato com os casos concretos, com linguagens artificiais variadas, códigos com estruturas diversas e problemas de *output* extremamente específicos, em áreas preciosas à sociedade como saúde, segurança, crédito, emprego. Como um terceiro impasse, os aplicadores da norma não terão critérios uniformes, isonômicos, na apreciação dos casos.

Impasse de *uniformidade*

Condição | Abertura *interpretativa* do quadro normativo

Impasse | Difícil *isonomia* no tratamento dos casos

Os princípios que hoje são aclamados na regulação da IA não são de pouca tradição ou pequeno relevo. Refletem um senso de justiça que veio sendo refinado, para nós, desde a tradição greco-romana. Traduzem uma busca por **liberdade e equilíbrio** nas relações reiterada e até acentuada pelos modernos, na forma de **ordem, inteligibilidade, isonomia e equidade, segurança, confiabilidade dos sistemas e, claro, responsabilidade dos agentes destes sistemas** – valores

tradicionalmente estimados em relação às próprias leis. Hoje, deseja-se que estes valores estejam refletidos também neste novo mecanismo de *conformação* de relações, com tamanha condição de *regular* acontecimentos: as eventualmente enormes redes de IA.

Uma reflexão sobre a aplicabilidade dos valores modernos à IA

Em certo sentido, podemos entender que as redes de IA, tanto quanto a legislação moderna, também estabelecem pactos entre as pessoas. No mínimo, pactos de linguagem (para não recairmos necessariamente em uma concepção contratualista da sociedade). É elucidativo pensarmos que algumas redes propõem "acordos" mais duros, de mera *adesão*, e outras, colaborativas, contam com melhor equilíbrio cognitivo e participativo entre os subscritores – envolvem menor *assimetria de informação* entre eles. Pode-se dizer então que algumas redes são mais impositivas, *monológicas*, e outras mais participativas, colaborativas, *dialógicas*.

A este respeito, não nos enganemos em relação às expressões de inteligência artificial científicas e preditivas. Embora elas pareçam monológicas, como se partissem de indiscutíveis "evidências", elas também são constituídas afinal apenas por fórmulas "subscritas" por especialistas, em linguagens que sempre poderiam ser diferentes (e dariam *outputs* diversos), e colhem dados que precisam ser revisados. Os *outputs* destas máquinas são tão *falseáveis* quanto quaisquer laudos técnicos e artigos científicos e por isto são também, em algum sentido, *pactuados* entre quem propõe e quem acata as fórmulas destas máquinas. O aprendizado delas, especialmente daquelas que tratam relações sociais como crédito, crime, empregabilidade, tende a incorrer em *feedback loops* empobrecedores, indesejáveis – quando a máquina começa a assimilar dados que são influenciados por sua própria operação, e portanto seu *input* não é realmente um dado novo, é um dado impactado por seu *output* (o problema não é menor se o *output* vier de outra máquina ou mecanismo institucional condicionante de um fenômeno). Máquinas nesta situação tendem a **acelerar disparidades**, ao extremo: indicam hoje como mais perigosas as regiões geográficas para as quais elas antes recomendaram vigilância exarcebada (que por isto mesmo passaram a ter mais *reports* de crimes), recomendam cada vez menos crédito a pessoas a quem elas já recusaram crédito, ou indicam menos emprego a quem elas já recusaram as primeiras experiências de trabalho. *Summa injuria*.

Em termos gerais, é possível distinguir entre aprendizagens de máquina com *feedback loops* enriquecedores ou empobrecedores. As primeiras são capazes de corrigir e aperfeiçoar seu *output* por incremento de *inputs*. Seu *input* não está condicionado por seus *outputs* prévios. Por exemplo, uma inteligência artificial que estuda estrelas pode aperfeiçoar suas fórmulas quanto mais dados de mais estrelas ela receber. Isto é relativamente seguro porque a máquina não altera o comportamento das estrelas com seu *output*. Já máquinas nas quais o *output* interfere no objeto de modo a empobrecer o próprio *input* posterior merecem, claro, menos credibilidade. Nenhuma delas é isenta de correção, mas máquinas que tocam as relações sociais tendem, direta ou indiretamente, à segunda categoria.

Todo *output* de máquina, portanto, defendemos nós, não pode ter mais credibilidade que um parecer técnico de algum especialista, e tem sempre que ser suscetível ao contraditório. Um *output* de máquina nunca pode ser a palavra final. Quanto às máquinas de ciência pura, no mínimo, porque elas são *falseáveis*. Mais rigorosamente dizendo, porque suas fórmulas são originalmente *aleatórias*, e outras linguagens e programações igualmente possíveis dariam resultados diferentes. Já quanto às máquinas que tocam a sociedade, não apenas por este mesmo motivo fundamental, mas também porque elas são suscetíveis a estes *feedback loops* empobrecedores e tendem assim, em sua operação, a **agravar crises sociais**.

Máquinas são, portanto, comparáveis entre si nestes sentidos muito gerais. Sobretudo, elas podem ser pensadas como mais ou menos dialógicas, participativas, colaborativas e legítimas, na linha de distinção entre discursos monológicos e dialógicos proposta por Tercio Sampaio Ferraz Jr em sua *Teoria da Norma Jurídica* (1986).

Então, podemos avaliá-las pela *legitimidade* de suas operações (FERRAZ, 1986, pp.161-181). Se toda máquina envolve um mínimo pacto – se não qualquer outro, ao menos aquele entre seu desenvolvedor e os usuários – podemos entender que **algumas máquinas estabelecem relações mais dialógicas e colaborativas entre as pessoas, e outras, prioritariamente monológicas, acabam impondo perspectivas e até agravando relações que elas supostamente iriam apenas descrever**. É isto que, defendemos, uma lei mais geral de inteligência artificial deve observar, praticamente como os juristas já observam os arranjos sociais. **Entendemos nós que isto pode ser feito, em computação, aferindo-se o espaço para aleatoriedade algorítmica existente em cada esfera do sistema, como veremos**.

Assim, se a generalidade é a melhor vocação da regulação, uma grande dispersão no tratamento da IA é uma perda. Nossa proposta vai em sentido contrário à dispersão: busca vias para elaboração de normas gerais e aplicação de critérios uniformes sobre toda IA, imediatamente compreensíveis e mensuráveis para os desenvolvedores de tecnologia, auditáveis a partir de métodos e teorias matemáticas gerais da computação, que sirvam também de **alicerce ou referencial para regulações setoriais ou específicas**.

É nosso entendimento que isto se alcança pelo recurso à *teoria da informação algorítmica* e no uso pelo legislador da distinção entre sequências aleatórias e ordenadas de código, que não só permite o controle *a priori* e em qualquer tempo das relações estabelecidas pela máquina, eventualmente prevenindo *consequências não-intencionais* nos *outputs*, como permite a uniformidade no tratamento dos casos.

Listamos aqui então os impasses apresentados e uma primeira indicação das respostas que recomendamos:

Impasse	Condição	Dificuldade	Resposta
1	A melhor vocação da lei é ser geral	A IA é um fenômeno plural e dinâmico	A <i>teoria da informação algorítmica</i> permite a análise da IA sob critérios uniformes orientados pela constituição mais fundamental da linguagem das máquinas. Ela trabalha isto a partir da simples oposição entre códigos aleatórios e ordenados, ou seja, entre os códigos escritos por seres humanos e os derivados destes pelas máquinas (que sempre são compressíveis por <i>softwares</i>).
2	Abertura interpretativa do quadro normativo em linguagem natural	a regulação da conduta acaba acontecendo <i>a posteriori</i> , após eventuais danos	A <i>teoria da informação algorítmica</i> , já com tecnologia atual, consegue oferecer esquemas para regulação do equilíbrio constitutivo da IA, capazes de serem aplicados por desenvolvedores em cada linha de programação, auditáveis <i>a priori</i> nos sistemas e, reiteradamente, em qualquer tempo (diferentemente da auditoria estatística, que só se faz <i>a posteriori</i>).
3	Abertura interpretativa do quadro normativo em linguagem natural	difícil isonomia no tratamento dos casos	Os critérios da <i>teoria da informação algorítmica</i> são universais a todas as linguagens artificiais e contextos e, portanto, constantes, uniformes. No que esta teoria pode ajudar, ela permite usar <i>matemática para regular e auditar matemática, tecnologia para regular e auditar tecnologia</i> .

Código aleatório ou ordenado: uma distinção esclarecedora



Parece-me que a descoberta mais importante desde Gödel foi a feita por Chaitin, Solomonoff e Kolmogorov do conceito chamado Probabilidade Algorítmica [...]. Todos deveriam aprender sobre isto e passar o resto de suas vidas trabalhando nisto"

Marvin Minsky

Um dos pais da IA, em demonstração de entusiasmo pela *teoria da informação algorítmica*, na mesa redonda "The Limits of Understanding", no World Science Festival em Nova Iorque, 2014.

São as premissas mais gerais da nossa proposta:

toda intervenção humana em sistemas digitais é identificável por vias computacionais e, portanto, distinta das produções de qualquer máquina

esta distinção afere-se no *corpus* de código binário de cada sistema computacional: a intervenção humana sempre deixa neste *corpus* algum código aleatório em relação às regras do sistema

máquinas não *criam* códigos aleatórios

todo programa tem em sua raiz a assinatura humana: os axiomas de sistemas computacionais, escritos por nós, são também aleatórios (o que não significa que sejam, para nós, *casuais*).



Esclarecemos e aprofundamos esta discussão no vídeo **Regulação da Inteligência Artificial no Brasil: Teoria da Informação Algorítmica, Parte I: Fundamentos da Abordagem**, em <https://youtu.be/SFoEyh4RITY> ou <https://drive.google.com/file/d/1c0MFY0cvcdNXWvACm9X34KUdJSeMeb1S/view?usp=sharing>.

Os autores da *teoria da informação algorítmica*, a partir do pensamento de Gregory Chaitin, compreendem que as sequências de código aleatório dos sistemas marcam *loci* de **criatividade** dentro destes sistemas (ABRAHÃO; WEHMUTH; ZIVIANI, 2020). Se pensarmos em termos da *teoria da norma jurídica* de Ferraz Jr., estes *loci* marcam também o **espaço dialógico da tecnologia** – são sequências de dados que permanecem suscetíveis de questionamento porque poderiam ser diferentes no sistema (afinal, são aleatórias). São espaços de liberdade humana nestes sistemas.

Sequências de código aleatório nos sistemas são espaços de diálogo na tecnologia, que precisam estar sujeitas a discussão e questionamento, como condição de legitimidade destes sistemas, no sentido proposto por Ferraz Jr. (1986)

Podemos então pensar os sistemas em rede – e as formas de IA entre eles – como estruturas necessariamente constituídas de *espaços de diálogo*. Na IA, estes espaços residem especialmente nas fórmulas estruturais e, depois, nos *inputs* de dados.

Todo sistema tem estes espaços potencialmente participativos, discutíveis. Conforme um sistema tem abertura ao aleatório, as pessoas podem intervir mais ou menos nestes pontos, e podem intervir de maneira mais ou menos equilibrada entre elas (seguindo níveis de autorização). Alguns sistemas impõem relações de sujeição e comportamentos bastante estereotipados aos seus subscritores. Outros são mais receptivos à singularidade dos agentes, a suas preferências e a sua intervenção – sistemas que, inclusive, conferem aos usuários ampla abertura a escolhas.

Adiante, listaremos alguns exemplos, em linhas bem gerais e ensaísticas, para elucidar como um mesmo critério – a complexidade algorítmica – pode medir ganhos e perdas de dialogicidade dos sistemas. Lembrando que:

intervenção humana → código aleatório (espaço de potencial diálogo) → código incompressível no sistema → maior complexidade (K) do sistema

A redução de complexidade enquanto redução de escolha

A análise de sistemas, neste sentido, deveria sempre partir da máxima aleatoriedade possível a um sistema $K(máx)$, seja para um usuário/participante, seja para todos juntos. Assim, *máx* será a conjunção de todas as possibilidades de comportamento no sistema para um usuário/participante ou para todos.

O que nós podemos aferir então é a *queda* destas possibilidades, imposta através de regras subjacentes ao sistema que, eventualmente, serão acordadas com os usuários. Por exemplo, é comum os sistemas oferecerem curadoria de conteúdo, limitando a oferta de opções que aparecem na tela de cada usuário de acordo com um perfil construído com base em seu uso prévio do mesmo sistema. Isto reduz a complexidade do sistema (K) para o usuário de modo mensurável.

O que nos importa é perceber que **na redução de possibilidades também pode haver regras de condicionamento de conduta do usuário indesejadas ou indesejáveis, e *inexplícitas*, não acordadas com o usuário**. Aí reside o problema de legitimidade do que os sistemas oferecem.

Podemos usar uma notação ilustrativa como $K(e)$ para complexidade *esperada* pelos usuários, $K(a)$ para a complexidade *atual*, encontrada nos sistemas em auditorias, em qualquer tempo, e $K(p)$, para a complexidade *potencial*: há sistemas abertos a *inputs*, nos quais $K(p)$ pode ser igual a $K(máx)$.

Há *softwares* capazes de dizer quando um sistema oferece $K(e)$, ou quando $K(a) < K(e)$, ou seja, quando a complexidade desejável àquele sistema (conforme o pacto com usuários) está reduzida por regras *inexplícitas*. Estes *softwares*, construídos na tradição da teoria da computabilidade, da teoria da medida, da teoria da informação clássica e da lógica matemática, podem ser preparados para fazer este tipo de apuração, em muitas situações, até mesmo sem exame da tecnologia específica do sistema, não importa qual a linguagem de programação ali presente. São *softwares* universais de medida de complexidade (K), que enxergarão apenas a estrutura de zeros e uns, se for isto o necessário.

Ou seja, **esta medida pode ser feita de forma agnóstica em relação à linguagem de programação e à base de dados escolhida, e portanto sem**

necessidade de quebra de direitos intelectuais dos códigos fechados e sem agressão à privacidade dos dados dos usuários.

Alguns sugestivos exemplos

Ilustrativamente e muito *grosso modo*, podemos pensar a IA inserida em:

- i. Sistemas intencionalmente dialógicos e colaborativos;
- ii. Sistemas de comportamento coletivo estereotipado, como aplicativos de coordenação de trajetos rodoviários, redes sociais, ferramentas de busca e enciclopédias online;
- iii. Sistemas *predictivos* com impacto social direto, como os que avaliam probabilidades nos campos de segurança pública, crédito ou empregabilidade; e
- iv. Sistemas científicos (eventualmente, também *predictivos*) sem impacto social direto.

Pensando na significação possível da perda de complexidade algorítmica em cada um deles, podemos entender que **sistemas intencionalmente dialógicos e participativos** tendem a ter $K(e) = K(máx)$, porque o pacto é de que o sistema possa ser indefinidamente transformado pelos usuários. Em qualquer momento em que eles sintam que $K(a) < K(e)$, eles podem, eles mesmos, propor ou até realizar imediatamente alterações no sistema, se ele for *open source* e permanecer aberto a modificações. Isto reduz o risco de que pessoas constrangidas pelo sistema não possam resistir a seu impacto – embora não impeça que constrangimentos aconteçam, o que pede atenção do legislador.

Já os **sistemas de comportamento coletivo estereotipado** são bastante suscetíveis a crises de legitimidade. É que neles já se parte do princípio que haverá regras desconhecidas do usuário, na curadoria das ofertas do sistema, nos algoritmos de recomendação de conteúdo ou na coordenação de condutas de usuários que o sistema executa. Um exemplo simples, neste sentido, é o de qualquer aplicativo de coordenação de trajetos rodoviários. Seu $K(máx)$ é o conjunto de todos os trajetos rodoviários possíveis entre a posição do usuário e seu destino desejado. O

pacto, porém, é que o sistema não deixe o usuário à mercê de tantas opções. O sistema oferecerá um $K(e)$ para o melhor trajeto ao destino entre todos os possíveis, sob critérios *preferidos pelo usuário* (trajeto mais rápido ou mais curto, por exemplo). A preocupação, aqui, é que os desenvolvedores do aplicativo, podemos imaginar como exemplo, façam um acordo com a associação de moradores de um bairro de pessoas influentes de não deixar trânsito pesado naquela região, prejudicando com isto os demais usuários sem assentimento destes ($K(a) < K(e)$, sem consentimento na redução de liberdade).

Analogamente, redes sociais e ferramentas de busca, enquanto sistemas de comportamento coletivo estereotipado, também podem condicionar tanto a liberdade de expressão de seus usuários (nas redes sociais), quanto seu acesso à informação (nestas mesmas redes e nas ferramentas de busca), para além do que os usuários assentiriam. O pacto, ali, é que a IA privilegie para os usuários aquilo que mais possa agradá-los entre todas as opções, de acordo com seu histórico de comportamento *online* e preferências declaradas. Isto daria o $K(e)$. No entanto, como as regras do sistema restam implícitas, nada impede que os gestores destes sistemas dirijam o comportamento dos usuários ou permitam que outros usuários (anunciantes das redes, por exemplo) o façam, de modos indesejáveis aos destinatários finais da informação, seja por meio de recursos técnicos do sistema, seja pelo próprio teor das mensagens ali publicadas (*fake news*, por exemplo). Neste caso, o condicionamento de comportamento feito via recursos técnicos do sistema há de ser mensurável em termos de K . Já o condicionamento de comportamento tentado pelos usuários no teor das mensagens teria que ser tratado diretamente pelos recursos tradicionais do Direito. Inobstante, podemos estimar que muitas vezes as campanhas e emissões que procurem dirigir comportamentos de maneira inaceitável ao Direito brasileiro aparecerão associadas a ferramentas do sistema (regras de distribuição) que, portanto, serão detectáveis, por alguma via, na comparação entre $K(a)$ e $K(e)$.

Enfim, uma enciclopédia online seria um terceiro exemplo de sistema de comportamento coletivo estereotipado. Nela, pode-se pensar mais claramente o duplo impacto de qualquer redução não consentida de liberdade, $K(a) < K(e)$, no *acesso à informação*. Tanto do lado de quem gera conteúdo, quanto de quem o consulta, $K(e)$ conta com a livre inclusão de informação conforme formato e critérios de credibilidade da enciclopédia. Se a proposta de uma enciclopédia é a isonomia no tratamento dos geradores de conteúdo, $K(a) < K(e)$ acontecerá se, por regras *implícitas*, a enciclopédia, por exemplo, começar a selecionar seus geradores de conteúdo ou censurar textos deles.

Quanto aos **sistemas preditivos de impacto social direto** e os **sistemas científicos sem impacto social direto**, não se espera encontrar neles grande espaço de diálogo. Após sua constituição pelos desenvolvedores e cientistas, o "diálogo" acontece apenas nos *inputs*, pelo direcionamento do "olhar" que condiciona a construção da base de dados. Aqui, o problema de legitimidade aparece porque o $K(e)$ é restrito e regulado pela pergunta, científica ou prática, colocada na máquina pelo desenvolvedor da tecnologia: *o que aquela máquina deve responder? A partir de quais dados?* Em outras palavras, o $K(máx)$ já nasce restrito pela pergunta do programador, e $K(e) = K(máx)$. Nossa recomendação é que, em virtude sobretudo desta restrição de $K(e)$, que é sempre uma restrição irremediavelmente *arbitrária* na programação, estes sistemas sejam sempre tratados como um *parecer* de especialista(s). O "diálogo", para estas máquinas, só acontece caso possamos colocar tanto suas fórmulas quanto suas bases de dados em discussão — e esta exigência, sabemos, tem sido uma das insistentes requisições de quem anseia pela legitimidade do uso desta tecnologia.

Isto significa que tanto a formulação, quanto a base de dados destas máquinas, porque têm raiz aleatória e *sempre* poderiam ter sido diferentes, insistimos, devam ser objeto de *contraditório*. Se pensarmos que estas tecnologias preditivas podem refinar o juízo humano, talvez seja de se considerar a regra: ***in dubio, o que for mais benéfico à pessoa que é objeto do juízo, entre o output da máquina mais benéfica, no contraditório entre máquinas, e a equitativa decisão humana.***

Vale enfim assinalar também que sistemas geradores de *feedback loops* empobrecedores terão a complexidade de seu *output* inferior ao que ele poderia ser, $K(a) < K(e)$, sob critérios científicos. Isto ocorre porque este *feedback loop* traz precisamente uma redução da complexidade possível dos resultados.

Uma perspectiva ética

Estes exemplos — e mesmo a lista tipológica deles, acima — não são tomados por nós como mais que meramente sugestivos e ilustrativos. Há aqui um ensaio de aplicação da *teoria da informação algorítmica* à regulação da IA. O importante, para nós, é mostrar como toda IA pode ser pensada sempre sob os mesmos critérios, matemáticos, em uma perspectiva consistente, voltada à ética das relações humanas que cada sistema estabelece.

Olhamos aqui a tecnologia antes como meio para relações humanas, que como ferramenta de transformação mecânica do mundo e da sociedade. Acreditamos que esta é a perspectiva sob a qual o Direito pode melhor compreender a inteligência artificial. Assim, inclusive no caso da IA científica, já que, não apenas na Alemanha nazista, mas outras tantas vezes na História, perguntas postas por cientistas, fundamentando coletas de dados e intervenções sobre o mundo, mostraram-se dolorosamente ilegítimas. Daí dirigirmos nosso olhar antes para a abertura dialógica de cada sistema – formas de assentimento e auditabilidade geral do que cada ferramenta realiza – que para seu impacto mecânico aferível estatisticamente apenas *a posteriori*. Afinal, **tecnologias menos participativas, menos dialógicas, são as mais propícias a encadearem, posteriormente, disparidades de tratamento ilegítimas entre as pessoas.** Toda disparidade de tratamento estatisticamente aferida é efeito, necessariamente, de alguma indevida redução do espaço de complexidade (K) do sistema – e por isto, e neste sentido, o risco de que a disparidade ocorresse poderia ter sido constatado *a priori* na estrutura do código de programação, com recursos da *teoria da informação algorítmica*. Vale tentarmos.

Dessa forma, enfatizamos: **o conceito de aleatoriedade algorítmica, determinante da medida K, e, a partir dele, os demais conceitos da teoria da informação algorítmica, oferecem recursos técnicos virtuosos para se aproximar os princípios estimados pelo legislador da atividade do programador.**

A tecnologia para efetivação da abordagem aqui recomendada

No trato com os exemplos acima, sugerimos – ainda em linhas gerais -- uma notação matemática que pode ajudar a pensar a liberdade nos sistemas digitais. Existem já métodos científicos e tecnológicos capazes de instrumentar o uso deste recurso por instituições reguladoras da inteligência artificial, aferindo, em pontos específicos dos sistemas, o K esperado e atual.

Os métodos e a tecnologia para isto compõem o relativamente novo campo de Dinâmica Algorítmica Informacional (DAI), que começa a florescer em resultados (ZENIL et al., 2020). Tecnicamente, podemos elencar como exemplos desta tecnologia aplicada:



Estes exemplos foram esclarecidos por Felipe Abrahão no vídeo **Regulação da Inteligência Artificial no Brasil: Teoria da Informação Algorítmica, Parte II: Alguns métodos e aplicações**, em <https://youtu.be/NOldwpkC108> ou <https://drive.google.com/file/d/1wfha3HKbFkvF2IgXqbvsNvHq2jqE0-TS/view?usp=sharing>.

- (1) o resultado em (HERNÁNDEZ-OROZCO et al., 2020) que mostra que o aprendizado de máquinas pode ser efetivo mesmo em espaços não diferenciáveis de forma que seja imune ao problema de *overfitting* dos parâmetros, hiperparâmetros e/ou modelo em si a ser descoberto;
- (2) o método de descoberta de modelos generativos para solução de problemas inversos (i.e. para realizar inferência causal) em (ZENIL et al., 2019a);
- (3) a análise de perturbação em sistemas computáveis evolucionários em (CHAITIN, 2012; ADAMS et al., 2017; CHAITIN; CHAITIN, 2018; HERNÁNDEZ-OROZCO; KIANI; ZENIL, 2018);
- (4) a análise da dominância causal de elementos e subestruturas de um sistema ou redes de sistemas em (ZENIL et al., 2018, 2019b; ZENIL; KIANI; TEGNÉR, 2019);
- (5) a análise de emergência de complexidade na dinâmica sujeito-objeto, isto é, observador e sistema observado, em (ABRAHÃO; WEHMUTH; ZIVIANI, 2018; ABRAHÃO; WEHMUTH; ZIVIANI, 2019; ABRAHÃO; ZENIL, 2022).

Ou seja, existe teoria, metodologia e aplicações tecnológicas para controle de tecnologias do porte e do impacto dos sistemas de IA. Isto nos abre caminho para que não precisemos contar apenas com a boa vontade prévia do programador e a auditoria de efeitos da tecnologia, *a posteriori*.

Havendo os *softwares* de medição de K , seria agora interessante testar, diante de casos concretos, como eles deveriam ser manejados para auditoria e homologação de máquinas. As respostas que hoje podemos obter com eles já satisfariam as perguntas mais específicas do legislador, do juiz, das agências reguladoras brasileiras? Se começarmos logo a formular perguntas, em casos concretos, podemos desafiar os programadores a não apenas testarem os *softwares*

existentes, mas a aperfeiçoá-los na direção de uma mais ágil e efetiva auditoria da IA. Acreditamos que vale um investimento neste sentido.

O que os *softwares* poderiam responder

Em rápida síntese, o que os *softwares* baseados na *teoria da informação algorítmica* podem oferecer, sob diversas perspectivas, é **a mensuração da quantidade de interferência, perturbação e contribuição causal de participantes e grupos em cada sistema** (NACCACHE, 2021, pp. 285-293). Isto permite, em seguida:

- comparações entre sistemas;
- comparação entre momentos de um único sistema, conforme ele evolui no tempo; e até
- a estimativa *em tempo presente* do potencial de evolução de cada sistema, considerando o quão aberto ele é ao incremento futuro de aleatoriedade.

Isto significa **medir e comparar a liberdade das pessoas nos sistemas**, observando-se matematicamente (em *bits*), por exemplo:

1. **Quais sistemas são mais *participativos***: abertos à contribuição de usuários, e em quais aspectos;
2. **Quais modelos de participação são mais *equilibrados***: sistemas, tal como contratos, podem acolher mais variedade de comportamento ou liberdade da parte de alguns de seus co-signatários que de outros. O critério de mensuração da abertura de um sistema à aleatoriedade algorítmica permite comparar o peso da voz de cada pessoa em um sistema;
3. **Quais plataformas comerciais contribuem mais para a abertura de seus mercados**, e quais tendem a constrangem/dificultar a entrada de novos participantes (e o próprio incremento de criatividade em seu *input*);
4. **Quais redes e plataformas são mais seguras e estáveis**, em aspectos desejáveis como o respeito a escolhas de usuários e o resguardo de dados pessoais sensíveis.

Vale realçar que sistemas capazes de crescer em complexidade com o tempo – ou porque aprendem com novos dados, ou porque estão abertos a ser

A resistência a estes impasses se alcança porque:

- I. *A teoria da informação algorítmica* permite uma compreensão geral e uniforme do que constitui a IA, olhando-a sempre como uma composição em código binário, sob a singela distinção entre o código aleatório e o ordenado (compressível por *softwares*). Isto nos parece dar francas condições à concepção de uma inovadora *lei geral* da inteligência artificial, resolvendo o impasse da generalidade.

Esta lei poderia já enunciar condições gerais de participação humana na construção dos sistemas de IA, observando, primeiro e sobretudo, o quanto as pessoas dão-se à identificação de suas contribuições (tornando obrigatória, por exemplo, a identificação pessoal de programadores e usuários, em determinadas situações), e, segundo, com especial atenção, **o quanto pessoas usam os sistemas de modo a restringir informação ou agência de outras** (o que aparece sempre como redução de complexidade do sistema para quem está sujeito à restrição).

- II. *A teoria da informação algorítmica* analisa os códigos de programação de forma universal, ou seja, independentemente da linguagem de programação e da estrutura específica encontrada em cada máquina. Independentemente também das máquinas realizarem, no *hardware*, computação analógica ou mesmo quântica. Isto implica, primeiramente, que a teoria compreende a IA de um modo que não precisará mudar no futuro, conforme evoluam os computadores e as expressões de IA. Em segundo lugar, implica que esta teoria **aborda as máquinas de modo agnóstico em relação à propriedade intelectual das fórmulas ou dos dados protegidos que ali se encontrem**, permitindo muita versatilidade na avaliação e auditoria das máquinas.
- III. *A teoria da informação algorítmica* permite a tradução dos mais importantes princípios jurídicos para regulação de IA, celebrados hoje internacionalmente, a critérios matemáticos compreensíveis pelo programador e aplicáveis por ele *a priori*, na construção das máquinas. Os critérios são tecnicamente aferíveis já no nascimento dos programas, e depois em qualquer momento de sua evolução no tempo. Isto aporta alguma resposta ao impasse temporal.

- IV. Estes critérios matemáticos constantes são igualmente aplicáveis pelas instâncias que devem auditar e/ou julgar as ocorrências relativas às máquinas, em qualquer tempo e circunstância. Isto aporta alguma resposta não apenas ao impasse temporal, mas também ao impasse de uniformidade.

É provável que estas nossas considerações sejam, elas mesmas, inquietantes por sua generalidade – por ainda não esclarecerem diretamente, por exemplo, como a lei poderia ser redigida em face de nossas recomendações ou qual *software* de medição de complexidade se aplicaria a qual caso, e como. A isto, chegaríamos com colaboração maior de pensamentos.

De qualquer modo, antecipamos já uma ideia: que o Direito brasileiro não conceba as máquinas como ferramentas técnico-científicas para empreendimentos públicos e privados (e muito menos como potenciais projeções da inteligência e da intencionalidade humanas), mas sim, ostensivamente, como **redes de relações humanas**, semelhantes a **grandes pactos plurilaterais em que a proposta, a conduta e até a boa-fé das partes são pessoalmente identificadas e observadas**. Seria esta uma condição, afinal, para ulterior definição dos modelos de responsabilidade a serem aplicados em cada caso, entre composições de responsabilização mais objetiva ou subjetiva.

Seria esta uma condição também, mais especialmente, para o **resguardo contra condutas ilegitimamente restritivas do acesso à informação e da liberdade de agência dos usuários/participantes das redes**. Que as restrições de informação e agência, nas redes computacionais, sejam mensuráveis em *bits*, é um grande trunfo para o Direito e uma facilidade enorme, se considerarmos o quanto é difícil provar constrangimentos realizados nas relações externas ao ambiente digital, em linguagem natural. Em redes, cada constrangimento deixa uma marca, uma redução em complexidade, e basta prepararmos sistemas para aferir estes constrangimentos.

Pensamos estar aqui diante de condições bem gerais, rigorosas e estáveis de apreciação da justiça e da democraticidade das redes de IA. Concebê-las como **redes de relações humanas**, com medida clara (até mensurável) de contribuições de cada parte, é aproximá-las de um repertório jurídico tradicional, refinado por séculos de experiência social, bem dominado e de fácil aplicação, portanto. A premissa é considerar-se cada pessoa que insere dados nestas redes como, em alguma condição, *subscritora* da rede. O direito deve então analisar em que condições coercitivas e informacionais cada subscrição é feita, e que espaço cada "co-autor" de

uma rede concede aos demais, para revisão, alteração ou evolução das relações que a rede estabelece. Não é um mundo inteiramente novo, em termos de direitos autorais, responsabilidade civil ou constituição de contratos, considerando-se as condições e constrangimentos da autonomia da vontade, em cada contexto. Trata-se de um mundo muito acessível a nossa tradição jurídica.

Compreender a tecnologia de IA pela *teoria da informação algorítmica* é ver que estamos apenas diante de um novo recurso *gráfico* -- recuperando Lassègue e Garapon -- para *conformação* de relações humanas, a criar muito rapidamente novas práticas sociais e conhecimento científico que demandam enorme atenção, mas que são tão suscetíveis à avaliação de legitimidade como qualquer *ato de linguagem* humano.

Referências bibliográficas

ABRAHÃO, F. S.; WEHMUTH, K.; ZIVIANI, A. Emergent open-endedness from contagion of the fittest. *Complex Systems*, v. 27, n. 4, p. 369–398, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.27.4.369>>.

ABRAHÃO, F. S.; WEHMUTH, K.; ZIVIANI, A. Algorithmic Networks: Central Time to Trigger Expected Emergent Open-Endedness. *Theoretical computer science*, v. 785, p. 83–116, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tcs.2019.03.008>>.

ABRAHÃO, F. S.; WEHMUTH, K.; ZIVIANI, A. Emergence of complex data from simple local rules in a network game. In: GONZALEZ, M. E. Q.; BROENS, M. C.; DE SOUZA, E. A. Big Data: Implicações Epistemológicas e Éticas. Coleção CLE. Campinas: UNICAMP, 2020. v. 88. Disponível em: <<https://www.cle.unicamp.br/ebooks/index.php/publicacoes/catalog/book/8>>.

ABRAHÃO, F. S.; ZENIL, H. Emergence and algorithmic information dynamics of systems and observers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 380, n. 2227, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0429>>.

ADAMS, A. et al. Formal Definitions of Unbounded Evolution and Innovation Reveal Universal Mechanisms for Open-Ended Evolution in Dynamical Systems. *Scientific reports*, v. 7, n. 1, p. 997, 20 abr. 2017. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-00810-8>>.

CALUDE, C. S. *Information and Randomness: An Algorithmic Perspective*. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2002.

CHAITIN, G. Life as Evolving Software. Em: *A Computable Universe*. [s.l.] WORLD SCIENTIFIC, 2012. p. 277–302.

CHAITIN, G.; DORIA, F. A.; DA COSTA, N. C. A. *Goedel's Way: Exploits into an undecidable world*. [s.l.] Taylor & Francis, 2011.

CHAITIN, G. J. *Algorithmic Information Theory*. [s.l.] Cambridge University Press, 1987.

CHAITIN, G. J. *Meta Math!: The Quest for Omega*. [s.l.] Pantheon, 2005.

CHAITIN, V. M. F. G.; CHAITIN, G. J. A philosophical perspective on a metatheory of biological evolution. Em: *The Map and the Territory*. Frontiers Collection. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 513–532.

DA COSTA, N. *Folha de São Paulo - Explorando a aleatoriedade - 01/07/2001*. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0107200102.htm>>. Acesso em: 12 maio. 2022.

DOWNEY, R.; HIRSCHFELDT, D. R. Algorithmic Randomness. *Communications of the ACM*, v. 62, n. 5, p. 70–80, 24 abr. 2019. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3319408>>.

FERRAZ JR. T. S. *Teoria da Norma Jurídica: Ensaio de Pragmática da Comunicação Normativa*. 2a ed. Rio de Janeiro: Forense, 1986.

GARAPON, A.; LASSEÈGUE, J. *Justice digitale: révolution graphique et rupture anthropologique*. [s.l.] Presses universitaires de France, 2018.

HERNÁNDEZ-OROZCO, S. et al. Algorithmic Probability-Guided Machine Learning on Non-Differentiable Spaces. *Frontiers in artificial intelligence*, v. 3, p. 567356, 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.3389/frai.2020.567356>>.

HERNÁNDEZ-OROZCO, S.; KIANI, N. A.; ZENIL, H. Algorithmically Probable Mutations Reproduce Aspects of Evolution, such as Convergence Rate, Genetic Memory and Modularity. *Royal Society open science*, v. 5, n. 8, p. 180399, ago. 2018. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1098/rsos.180399>>.

NACCACHE, A. M. *A ultima ratio: Estudos iniciais para uma teoria da justiça como aleatoriedade*. Tese apresentada como requisito para conclusão de Doutorado Direto no Programa de Pós Graduação em Direito da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, sob orientação do Prof. Titular Celso Fernandes Campilongo. São Paulo, 2021. Disponível em contato com a autora, por andrea@andreanaccache.com.

ZENIL, H. et al. Minimal Algorithmic Information Loss Methods for Dimension Reduction, Feature Selection and Network Sparsification. *arXiv Preprints*, 16 fev. 2018. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1802.05843>>. Acesso em: 10 maio. 2022.

ZENIL, H. et al. Causal Deconvolution by Algorithmic Generative Models. *Nature Machine Intelligence*, v. 1, n. 1, p. 58–66, jan. 2019a. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/s42256-018-0005-0>>.

ZENIL, H. et al. An Algorithmic Information Calculus for Causal Discovery and Reprogramming Systems. *iScience*, v. 19, p. 1160–1172, 27 set. 2019b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isci.2019.07.043>>.

ZENIL, H. et al. Algorithmic Information Dynamics. *Scholarpedia journal*, v. 15, n. 7, p. 53143, 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.4249/scholarpedia.53143>>.

ZENIL, H.; KIANI, N. A.; TEGNÉR, J. The Thermodynamics of Network Coding, and an Algorithmic Refinement of the Principle of Maximum Entropy. *Entropy*, v. 21, n. 6, 3 jun. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/e21060560>>.

Vídeos de esclarecimento da Nota Técnica

NACCACHE, A. M.; ABRAHÃO, F. S.; CHAITIN, V. M. F. G. Regulação da Inteligência Artificial no Brasil: Teoria da Informação Algorítmica, Parte I: Fundamentos da Abordagem, em <https://drive.google.com/file/d/1c0MFYOcvcdNXWvACm9X34KUdJSeMeb1S/view?usp=sharing> ou no YouTube: <https://youtu.be/SFoEyh4RITY>.

NACCACHE, A. M.; ABRAHÃO, F. S.; CHAITIN, V. M. F. G. Regulação da Inteligência Artificial no Brasil: Teoria da Informação Algorítmica, Parte II: Alguns métodos e aplicações, em <https://drive.google.com/file/d/1wfha3HKbFkvF2IgXqbvsNvHq2jqE0-TS/view?usp=sharing> ou no YouTube: <http://youtu.be/NOldwPkC108>.

[Texto Anterior](#) | [Próximo Texto](#) | [Índice](#)

+ ciência

Explorando a aleatoriedade

Livro do matemático G.J. Chaitin analisa sua teoria da informação algorítmica

Newton da Costa

especial para a Folha

Gregory Chaitin é um especialista em computação que, ainda muito jovem, estudante do curso secundário, definiu o conceito de complexidade algorítmica, simultânea, mas independentemente do notável matemático russo A. N. Kolmogorov. Com base em sua definição, Chaitin edificou toda uma teoria da informação (algorítmica) e obteve resultados de grande relevância, tais como nova forma do teorema de incompletude de Gödel e vários teoremas de impossibilidade de solução de problemas por meio de máquinas de Turing (computadores teóricos que englobam os computadores fisicamente existentes). Dado o significado de sua obra, é pena que Chaitin não seja melhor conhecido em nossa terra.

Chaitin trabalha no Centro de Pesquisas Watson, da IBM, nos Estados Unidos. Norte-americano de nascimento, passou vários anos na Argentina. Por volta de 1965, ainda jovem (ele tem hoje 52 anos), começou a desenvolver a teoria da informação algorítmica, combinando, sobretudo, a teoria clássica da informação de Shannon com a teoria das máquinas de Turing. Aos poucos, tornou-se reconhecido como um dos mais importantes matemáticos de nossos tempos.

No presente livro, o autor trata de numerosos aspectos de sua teoria (por exemplo, uma formulação original da linguagem Lisp, programas e máquinas de Turing de sua perspectiva e complexidade de sequências finitas e infinitas) e de alguns tópicos de fundamentos da matemática. Chaitin conferiu ao livro um caráter expositivo e geral, embora a obra seja um tanto difícil para quem não estiver familiarizado com, pelo menos, noções básicas da computação.

mentos, noções básicas da computação.

A idéia central é a de aleatoriedade (randomness) algorítmica. Falando sem rigor, quaisquer mensagens podem ser codificadas (fixado um processo de codificação) por meio de sucessões (ou sequências) de zeros e de uns, isto é, por sucessões binárias. Uma sequência é aleatória se não puder ser descrita (codificada) por outra de comprimento menor. A complexidade (algorítmica) de uma sequência é, essencialmente, o comprimento da menor sequência que a codifica.

Com respeito à ciência e à comunicação, por exemplo, o que nos interessa, do prisma computacional, é construir sucessões que possam condensar sequências mais longas e significantes. Assim, uma teoria científica é codificável por dada sucessão que condensa enorme variedade de outras sucessões mais longas, as quais codificam possíveis aplicações e consequências da teoria.

Um sistema formal, matemático, quando certas condições são preenchidas, digamos a aritmética elementar, possui limitações (essas condições são satisfeitas pelas teorias matemáticas usuais). Com efeito, a toda teoria matemática S acha-se associada uma constante c (número natural), tal que, por meio de S , não se pode demonstrar que uma sequência binária de complexidade k , maior do que c , tem complexidade k . Há, pois, proposições verdadeiras que não são demonstráveis em S . Esta é a forma do teorema de Gödel devida a Chaitin.

A teoria da complexidade algorítmica ou da informação algorítmica possui amplo campo de aplicação na computação em geral e conduz a novas posições em filosofia da lógica e da matemática. Assim, Chaitin evidenciou que certos enunciados matemáticos são verdadeiros sem nenhuma razão, verdadeiros como que por acidente. Isto constitui um fato, sem sentido técnico, contribuindo para uma renovação da filosofia da matemática, dado que nesta última ciência os enunciados verdadeiros, via de regra, têm uma razão de ser (são demonstráveis, possuem fundamento na evidência, ...). Então, na matemática, embora isso contrarie a concepção tradicional, existem características acidentais. Chaitin também mostrou que, contra o que se pode esperar, há determinada aleatoriedade na aritmética; em outros termos, Deus joga dados não apenas na mecânica quântica, mas, também, na matemática. Daí, Chaitin defender uma filosofia quase-empírica ou quase-experimental dessa última disciplina.

Tudo isso e muito mais o leitor encontrará neste livro extraordinariamente original e idiossincrático de Chaitin.

Newton C. A. da Costa é professor no departamento de filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP e professor de fundamentos da computação e lógica da Unip (Universidade Paulista), autor de, entre outros, "O Conhecimento Científico" (Discurso Editorial).

Exploring Randomness de G.J. Chaitin

164 págs.

Springer, EUA, 2001