

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA DE DIREITO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO

SÉRGIO FERNANDO FERREIRA DE LIMA

**A APLICAÇÃO DO SISTEMA NK(C) AO SISTEMA TRIBUTÁRIO
NACIONAL**

CURITIBA
2019

SÉRGIO FERNANDO FERREIRA DE LIMA

**A APLICAÇÃO DO SISTEMA NK(C) AO SISTEMA TRIBUTÁRIO
NACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Direito da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Direito.

Área de Concentração: Direito Econômico e Desenvolvimento.

Linha de Pesquisa: Estado, Economia e Desenvolvimento

Orientador: Prof. Dr. André Parmo Folloni
Coorientadora: Profa. Dra. Cinthia Obladen de Almendra Freitas

**CURITIBA
2019**

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Luci Eduarda Wielganczuk – CRB 9/1118

L732a
2019

Lima, Sérgio Fernando Ferreira de
Aplicação do modelo NK(C) ao sistema tributário brasileiro / Sérgio Fernando
Ferreira de Lima ; orientador: André Parmo Folloni ; coorientadora: Cinthia
Obladen de Almendra Freitas. – 2019.
1191 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,
Curitiba, 2019
Bibliografia: 161-169

1. Direito tributário – Brasil. 2. Impostos – Modelos matemáticos. I. Folloni,
André Parmo. II. Freitas, Cinthia Obladen de Almendra. III. Pontifícia
Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Direito.
IV. Título.

Dóris. 4. ed. – 341.390981

TERMO DE APROVAÇÃO

SÉRGIO FERNANDO FERREIRA DE LIMA

A APLICAÇÃO DO SISTEMA NK(C) AO SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Direito da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Direito.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. André Parmo Folloni

Orientador

Profa. Dra. Cinthia Obladen de Almendra Freitas

Coorientadora

Profa. Dra. Marcia Carla Pereira Ribeiro

Membro interno PPGD PUCPR

Prof. Dr. Hugo de Brito Machado Segundo

Membro externo, Universidade Federal do Ceará

Curitiba, 19 de março de 2019.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador André Parmo Folloni que, pacientemente, indicou com clareza e precisão ímpar o caminho da pesquisa científica em Direito. O aprendizado em pesquisa e rigor científico aplicados a uma área tão diversa como o Direito dificilmente poderia ter sido colhido com maior qualidade em outro lugar.

Agradeço minha coorientadora Cinthia Obladen de Almendra Freitas que aceitou o desafio da interdisciplinaridade aplicada de forma pouco usual a pesquisa jurídica.

Agradeço a Sâmia, Eliete, Cláudio e Diogo meus amigos e colegas de trabalho que se sobrecarregaram em horas e afazeres permitindo que pudesse desfrutar de maior liberdade e tempo para a realização dessa pesquisa.

Agradeço a Miriam Olívia Knopik, presença constante na vida acadêmica desse PPGD, com a qual discuti esse projeto inúmeras vezes e auxiliou na melhora de cada capítulo desse trabalho.

Agradeço ao meu amigo Juan que discutiu por longos finais de semanas as ideias e possibilidades de implantação computacional realizada nesse trabalho e me manteve focado em soluções simples e práticas.

Agradeço a Amanda, Nicolas, Marcos, Solange, Gustavo, Camila e Marília, inicialmente meus colegas de PPGD e hoje meus amigos de convívio quase diário, sem os quais as noites em claro escrevendo teriam sido mais longas e muito menos produtivas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

The future is uncertain... but this uncertainty is at the very heart of human creativity.

Ilya Prigogine

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo avaliar a complexidade do sistema tributário brasileiro. Para tanto, a dissertação define “sistema tributário brasileiro” como o sistema normativo – o ordenamento jurídico tributário – e define “complexidade” a partir da teoria dos sistemas complexos adaptativos. O método é a aplicação do Modelo NK(C), de uso corrente em outras ciências mas praticamente desconhecido no âmbito das ciências jurídicas. A pesquisa parte da hipótese de que o sistema tributário é complexo em virtude das interdependências entre os elementos do sistema, caracterizando uma rede complexa que pode ser analisada com o Modelo NK(C). A hipótese é testada pela aplicação do Modelo por meio de simulação computacional. Os resultados obtidos demonstram que a complexidade é uma característica fundamental do sistema tributário brasileiro, definida não apenas pela quantidade de elementos do sistema, que é um aspecto de importância secundária, mas sobretudo pela forte interdependência entre esses elementos. Essa característica, embora gere problemas, tem aspectos positivos. Como demonstra a pesquisa, a complexidade do sistema o torna adaptável a mudanças e resiliente a catástrofes, sendo capaz de se adaptar a turbulências de ordem econômica e social. Para chegar a esses resultados, o trabalho inicia por definir tecnicamente a complexidade do sistema tributário, para além das características comumente apontadas na doutrina: excesso de normas, excesso de tributos, dificuldade de interpretação e assim por diante. A definição parte da aplicação das teorias da complexidade e dos sistemas complexos adaptativos ao Direito e ao Direito Tributário. Em seguida, utiliza-se a teoria das redes para representar uma parte do sistema tributário brasileiro. Posteriormente, aplica-se o modelo NK ao sistema como definido. Trata-se de um modelo de paisagens de adaptação, comumente aplicado para o exame de sistemas complexos, aqui utilizado para modelar as interdependências do sistema tributário brasileiro. A aplicação computacional do modelo NK, chamada Sendero, foi utilizada para simular computacionalmente o sistema tributário brasileiro, tornando possível observar as interdependências do sistema e a emergência da sua complexidade. Os resultados da simulação computacional foram discutidos utilizando-se das teorias de complexidade e da complexidade jurídica como antes definidas. Como demonstra o trabalho, compreender a emergência da complexidade tributária e suas implicações fornece melhores ferramentas para modelar um sistema tributário melhor e mais adaptável, que possa funcionar como peça importante no desenvolvimento nacional.

Palavras-chave: Tributação. Complexidade. Redes. Modelo NK. Desenvolvimento.

ABSTRACT

This dissertation aims to evaluate the complexity of the Brazilian Tax System. For this, the dissertation defines "Brazilian tax System" as the normative system - the tax legal system - and defines "complexity" using the theory of complex adaptive systems. The method is the application of the NK(C) Model, commonly used in other sciences but practically unknown in the legal sciences. The research is based on the hypothesis that the tax system is complex because of the interdependencies between the elements of the system, characterizing a complex network that can be analyzed with the NK(C) Model. The hypothesis is tested by applying the model through computational simulation. The results obtained demonstrate that complexity is a fundamental characteristic of the Brazilian Tax System, defined not only by the number of elements of the system, which is an aspect of secondary importance, but above all by the strong interdependence between these elements. This feature, although it generates problems, has positive aspects. As the research shows, the complexity of the system makes it adaptable to changes and resilient to catastrophes, being able to adapt to economic and social turbulence. In order to arrive at these results, the work begins by technically defining the complexity of the Tax System, transcending the characteristics commonly mentioned in the doctrine: an excess of rules, excess of taxes, difficulty of interpretation and so on. This definition is drawn from the application of theories of complexity and complex adaptive systems to Law and Tax Law. Next, network theory is used to represent a part of the Brazilian tax system. Subsequently, the NK model is applied to the system as defined. It is an adaptive landscape model, commonly applied for the examination of complex systems, used here to model the interdependencies of the Brazilian Tax System. The computational application of the NK model, called Sendero, was used to simulate computationally the Brazilian tax system, making it possible to observe the interdependencies of the system and the emergence of its complexity. The results of the computational simulation were discussed using theories of complexity and legal complexity as defined above. As the work demonstrates, understanding the emergence of tax complexity and its implications provides better tools for modeling a better and more adaptable Tax System that can function as an important piece of national development.

Keywords: Taxation. Complexity. Networks. Model NK. Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – grafo unidirecional, com 6 vértices (vertex) e 7 arestas (edges).	78
Figura 2 – matriz adjacente	78
Figura 3 - Rede de tributos nível 1	84
Figura 4 – Rede de tributos nível 2.....	85
Figura 5 - Paisagem de adaptação.....	91
Figura 6 – Paisagem de adaptação como um hipercubo	100
Figura 7 – Tipos mais comuns de paisagens de adaptação	104
Figura 8 – Sistemas coevolutivos	108
Figura 9 – Vértices agrupados em círculo.....	124
Figura 10 – Sistema sociojurídico, redes acopladas ou multiplex.....	134
Figura 11 – Comunidades identificadas na rede de tributos.	135

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Correlação entre um CAS e o Sistema Jurídico	40
Tabela 2 – Lista dos tributos analisados	82
Tabela 3 – Sistema-sequência $N = 2$, $A = 2$	98
Tabela 4 – Configuração para o cálculo de adaptação	130
Tabela 5 – Configuração para o cálculo de adaptação com vizinhos mutantes	131
Tabela 6 – Configuração para o cálculo de adaptação considerando K	131
Tabela 7 – Configuração para o cálculo de adaptação considerando K , com mutação	133
Tabela 8 – Comparação entre médias de adaptação para diversos valores de N e K	152
Tabela 9 – Valores médios de adaptação com N fixo em 68 e K variável	134
Tabela 10 – Valores de adaptação NKC para K variável	152
Tabela 11 – Descrição dos dispositivos legais analisados	169

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFRMM	Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante
CAS	<i>Complex Adaptive System</i> – Sistemas Complexos Adaptativos
CCCCN	Contribuição à Comissão Coordenadora da Criação do Cavalo Nacional
CDPC	Contribuição a Direção de Portos e Costas
CF/88	Constituição da República Federativa do Brasil de 1988
CFAAP	Contribuição para a Assistência Social e Educacional aos Atletas Profissionais
CFGTS	Contribuição para o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
CFNDE	Contribuição ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
CFRP	Contribuição para o Fomento da Radiodifusão Pública (telefonia)
CIDE	Comb - Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico Combustíveis
CIDE-roy	Contribuição ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CINCRA	Contribuição ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
CM	Contribuições de Melhoria
COFINS	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social
COFP	Contribuições aos Órgãos de Fiscalização Profissional
CONDECINE	Contribuição para o Desenvolvimento da Indústria Cinematográfica Nacional
COSIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública Emenda Constitucional
CPIS/PASEP	Contribuição para Programa de Integração Social (PIS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
CPRB	Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta
CRCP	Contribuição sobre a Receita de Concursos de Prognósticos
CSA-FGTS	Contribuição Social Adicional para Reposição das Perdas Inflacionárias do FGTS
CSEBRAE	Contribuição ao Serviço Brasileiro de Apoio à Pequena Empresa

CSENAC	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Comercial
CSENAI	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Industrial
CSENAR	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Rural
CSENAT	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado dos Transportes
CSESC	Contribuição ao Serviço Social do Comércio
CSESCOOP	Contribuição ao Serviço Social do Cooperativismo
CSESI	Contribuição ao Serviço Social da Indústria
CSEST	Contribuição ao Serviço Social dos Transportes
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
CSP	Contribuição Social Patronal
CST	Contribuição Social do Trabalhador
CTN	Código Tributário Nacional
FUNRURAL	Contribuição ao Funrural
GIL-RAT	Contribuição do Grau de Incidência de Incapacidade Laborativa decorrente dos Riscos Ambientais do Trabalho
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IE	Imposto sobre a Exportação
II	Imposto sobre a Importação
IOF	Imposto sobre Operações de Crédito
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IRPF	Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza de Pessoas Físicas
IRPJ	Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza
ISS	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza
ITBI	Imposto de Transmissão de Bens Imóveis Inter-Vivos
ITCMD	Imposto sobre Transmissão Causa Mortis e Doação
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural
MERCANTE	Taxa de Utilização do Sistema de Controle de Arrecadação do Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante
PEC	Projeto de Emenda Constitucional
STF	Supremo Tribunal Federal
TAFIC	Taxa de Fiscalização e Controle da Previdência Complementar

TAIE	Taxa de Avaliação in loco das Instituições de Educação e Cursos de Graduação
TCFA	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental
TCFPQ	Taxa de Controle e Fiscalização de Produtos Químicos
TCIF	Taxa de Controle Administrativo de Incentivos Fiscais
TCIFPAeV	Taxa de Classificação, Inspeção e Fiscalização de produtos animais e vegetais ou de consumo nas atividades agropecuárias
TFAC	Taxa de Fiscalização da Aviação Civil
TFCVM	Taxa de Fiscalização da Comissão de Valores Mobiliários
TFFT	Taxa de Fiscalização de Funcionamento das Telecomunicações
TFIT	Taxa de Fiscalização de Instalação das Telecomunicações
TFPC	Taxa de Fiscalização dos Produtos Controlados pelo Exército Brasileiro
TFSBC	Taxa de Fiscalização de Sorteios, Brindes ou Concursos
TFVS	Taxa de Fiscalização de Vigilância Sanitária
TIMETRO	Taxa de Avaliação da Conformidade
TIP	Taxa de Iluminação Pública
TLAV	Taxa de Licenciamento Anual de Veículo
TLCMNR	Taxa de Licenciamento, Controle e Fiscalização de Materiais Nucleares e Radioativos e suas instalações
TOFEE	Taxa de Outorga e Fiscalização - Energia Elétrica
TORC	Taxa de Outorga - Rádios Comunitárias
TOSTTA	Taxa de Outorga - Serviços de Transportes Terrestres e Aquaviários
TSS-ANS	Taxas de Saúde Suplementar – Agência Nacional de Saúde
TUSC	Taxa de Utilização de Selo de Controle

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1 O DIREITO COMO SISTEMA COMPLEXO.....	21
1.1 INTRODUÇÃO À COMPLEXIDADE	21
1.1.1. Sistemas caóticos e sistemas dissipativos longe do equilíbrio	22
1.1.2. Sistemas complexos adaptativos	26
1.2 DIREITO E COMPLEXIDADE.....	35
1.2.1 Incertezas do caos.....	42
1.2.2 A dinâmica da evolução legal.....	49
2. O SISTEMA TRIBUTÁRIO COMO UM SISTEMA COMPLEXO	60
2.1 O SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO	60
2.1.1 Princípios estruturais do sistema jurídico-tributário brasileiro.....	63
2.2 O SISTEMA TRIBUTÁRIO COMO SISTEMA COMPLEXO ADAPTATIVO ...	68
2.3 TRIBUTOS REPRESENTADOS EM REDE	75
3. O MODELO NK DE KAUFFMAN.....	89
3.1 O DESENVOLVIMENTO DO MODELO NK	89
3.2 APLICAÇÕES DO MODELO NK	109
3.3 IMPLEMENTAÇÕES DO MODELO NK	114
4. O MODELO NK APLICADO AO SISTEMA TRIBUTÁRIO	123
4.1 MÉTODO E RESULTADOS	128
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	134
CONCLUSÃO	154
REFERÊNCIAS.....	160
ANEXO A – TRIBUTOS E SUAS INTERLIGAÇÕES	169

INTRODUÇÃO

O termo complexidade tributária não parece possuir um significado claro, embora seja um termo comum em textos jurídicos e seja apontado como uma das principais características de qualquer sistema tributário e do sistema tributário nacional em especial. As causas dessa complexidade tributária são indicadas, usualmente, como relacionadas ao excessivo número de tributos e as complicadas disposições legais que os regulam, tendo como resultado principal um alto custo de conformação tributária, refletido geralmente, em índices que apontam quantas horas são necessárias para que uma empresa realize anualmente todo o procedimento de conformidade tributária exigido. Normalmente, considerando as causas e efeitos mencionados na maioria das definições de complexidade tributária, esse estado do sistema tributário surge como indesejado e ensejador de correção por meio de reformas e simplificações que em geral sugerem a redução do número de tributos e a simplificação das legislações tributárias a fim de permitir uma fácil compreensão e um ágil procedimento de conformação.¹

Por outro lado, o termo complexidade tem sido repetido em escala crescente e acelerada em ciências biológicas e exatas nas últimas décadas e, mesmo inexistindo definições unívocas, tem gerado um corpo de teorias e métodos em torno do estudo do que se convencionou chamar de sistemas complexos e sistemas complexos adaptativos. Nas décadas de 60 e 70 o tema mais promissor nessa área era a teoria do caos em física. Atualmente, a maioria das áreas em ciências exatas não poderia existir sem os modelos e métodos desenvolvidos no estudo de sistemas complexos dos quais elas passaram a depender. E não existe uma única área científica que não tenha sido alcançada pela extensão da revolução da

¹COELHO, Isaías. **Complexidade tributária: a bola de ferro amarrada aos pés do Empreendedor**, 2017. Disponível em: <http://ccif.com.br/wp-content/uploads/2017/07/20160616_Coelho.pdf> Acesso em 02 fev. de 2019; HIRATA, Dalton Y. **A complexidade tributária no Brasil como elemento de violação aos requisitos formais e substantivos do Estado de Direito**, 2012. Disponível em: <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=757b505cfd34c64c>> Acesso em 02 fev. de 2019.; BIFANO, Elidie P. **Complexidade das obrigações tributárias incluindo a imposição de multa por seu descumprimento**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibet.com.br/wp-content/uploads/2018/01/Elidie-Bifano.pdf>> Acesso em 02 fev. de 2019; ZWICK, Eric. The costs of corporate tax complexity. **National Bureau of Economic Research Working Paper Series**, Working Paper 24382, March 2018. KRAUSE, Kate. Tax Complexity: Problem or Opportunity? **Public Finance Review**. vol. 28 n. 5, p. 395-414, 2000; ULPH, David. **Measuring Tax Complexity**, Scottish Institute for Research in Economics, 2013; PWC. **Paying taxes 2018**. Disponível em <https://www.pwc.com/gx/en/paying-taxes/pdf/pwc_paying_taxes_2018_full_report.pdf> Acesso em 02 Fev de 2019.

complexidade que encontrou aplicação para seus métodos e modelos em todas as áreas que alcançou.²

As ciências sociais também foram alcançadas pela teoria da complexidade, provendo novas formas de representar e compreender o fenômeno da interação social, como o extenso uso da teoria de redes e a análise de redes sociais, como os modelos de decisão coletiva e novas formas de pesquisar a emergência de normas sociais. Ao contrário de muitas áreas, nem todas as ideias da ciência da complexidade foram totalmente novas em ciências sociais, uma vez que a teoria geral dos sistemas de Luhman possui vários pontos em comum.³

Entretanto, a teoria da complexidade possui fundamentos e focos diversos da teoria geral dos sistemas. Os limites e fronteiras entre sistemas e o mecanismo de entrada (*input*) e saída (*output*) de informações, central na teoria geral dos sistemas é um elemento secundário na teoria de sistemas complexos cuja maior ênfase encontra-se nas relações de interdependência entre os elementos de um sistema que pode conter diversos subsistemas organizados sem qualquer coordenação central. Nesses sistemas as fronteiras e delimitações serão dadas por meio das suas interligações, visualizáveis em diagramas de redes, e podem acontecer misturando elementos de diversos sistemas ou subsistemas, de forma que as fronteiras são definidas pelas interconexões e não pela função dos elementos que compõem cada sistema ou subsistema. Além disso, a ênfase em determinar as características dos sistemas complexos por meio da coleta e análise de dados empíricos, buscando a formulação de uma teoria de baixo para cima (*bottom up*) faz com que a teoria de sistemas complexos naturalmente se utilize de uma ampla gama de ferramentas de coleta e análise de dados como a teoria de redes, *big data*, modelos e simulações computacionais, formulações com maior rigor matemático, que não possuem um papel central na teoria geral dos sistemas e que trazem novos desafios teóricos e práticos para a ciência jurídica.⁴

Um dos desafios mais atuais na ciência da complexidade é justamente a compreensão da complexidade social. Por isso mesmo, os sistemas jurídicos têm atraído uma atenção cada vez maior de pesquisadores de sistemas complexos, pois o Direito representa uma das formas fundamentais de organização estrutural e controle da complexidade social que

² HOOKER, Cliff. **Handbook of the Philosophy of Science Volume 10: Philosophy of Complex Systems**. Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 5.

³ CASTELLANI, Brian.; HAFFERTY, Frederic. **Sociology and Complexity Science: A new field of inquiry**. Berlin: Springer, 2009, p. 09-25

⁴ TURNER. John.; BAKER, Rose M. Complexity Theory: An Overview with Potential Applications for the Social Sciences. **Systems**, Vol. 7, n. 1, p. 1-22, 2019.

presentemente é a área com menor quantidade de elementos teóricos formados e maior dificuldade de descrição e compreensão no estudo de sistemas complexos.⁵

Um exemplo dessa dificuldade e ao mesmo tempo de como o estudo da complexidade pode inovar com métodos e modelos é o estudo da formação de conflitos sociais. Os sistemas sociais humanos são demasiadamente complexos para a extração direta de dados, logo os pesquisadores de complexidade têm se voltado para sociedades de macacos onde os dados podem ser colhidos em grande quantidade e possuem maior simplicidade. A partir dos dados coletados, padrões de estratégias de conflitos foram identificados e modelados, sendo posteriormente testado se por meio dos padrões de estratégias modelados era possível, por simulações computacionais, recriar o histórico de conflitos registrados nos dados daquele grupo social. O sucesso nessas modelagens de estratégias simples de formação de conflitos está fornecendo os primeiros elementos de uma teoria de jogos indutiva, onde as estratégias dos jogadores identificadas e extraídas de dados empíricos formam os modelos de jogos ao invés de existirem modelos ideais de estratégias para os jogadores, como ocorre na teoria dos jogos tradicional.⁶

Em um artigo de 2009 intitulado *Engineering better Legal Systems*, Jessica Flack, codiretora do grupo de computação coletiva do Instituto Santa Fé, que entre outros temas pesquisa comportamento coletivo, robustez, regulação e gerenciamento de conflitos em sistemas biológicos e sociais, afirma que uma vez considerado o sistema legal como um sistema complexo é necessário começar a discutir vários aspectos não usualmente tratados pela teoria jurídica. Tópicos como a teoria da informação, o estudo da dinâmica dos efeitos jurídicos na sociedade em escalas de tempo apropriadas, escalabilidade e formação de estruturas hierárquicas jurídicas, a interação entre os agentes regulados considerando sua heterogeneidade e os efeitos não lineares da suas interações, os efeitos do acoplamento com o meio social e as inevitáveis trocas entre robustez legal e capacidade de evolução na produção normativa devem ser abordados. Todos estes tópicos, afirma Flack, tocam pontos fundamentais do estudo de

⁵ BEINHOCKER, Eric. D. **The Origin of Wealth**: evolution, complexity and the radical remaking of economics. Boston: Harvard Business School Press, 2006, p. 261; ARTHUR, William. B. **Complexity and the economy**. New York: Oxford University Press, 2015, p. 15; WIESNER, Karoline.; BIRDI, Alvin.; ELIASSI, Tina. *et al.* Stability of democracies: a complex systems perspective. **European Journal of Physics**, v. 40, p 1-17, 2019.

⁶ BRUSH, Eleonor. R.; KRAKAUER, David. C.; FLACK, Jessica. C.; Conflicts of interest improve collective computation of adaptive social structures. **Science Advances**, Vol. 4, no. 1, e1603311, 2018. LEE, Edward. D.; DANIELS, Bryan. C.; KRAKAUER, David. C. *et al.* Collective memory in primate conflict implied by temporal scaling collapse. **Journal of the Royal Society Interface**, vol. 14, n. 134, p. 1-6, 2017.

sistemas complexos em geral e, portanto, podem ser estudados com o auxílio da ciência da complexidade.⁷

Até recentemente apenas a análise econômica do Direito foi capaz de introduzir modelos matemáticos (econômicos) e uma maior ênfase na análise de dados empíricos, forçando a ciência do Direito a uma maior interdisciplinaridade e a um uso mais amplo de modelos matemáticos abstratos, levando o pesquisador jurídico a compreender aspectos mais sistêmicos da complexidade social.⁸

Entretanto, a atual era da informação tem proporcionado oportunidades únicas, onde encontram-se disponíveis massivas quantidades de dados econômicos, sociais e jurídicos. A digitalização das decisões dos tribunais, a facilidade de acesso e a evolução dos meios computacionais para busca e análise de dados textuais formam uma combinação ideal para trazer uma maior aporte de dados empíricos para a teoria jurídica, permitindo que o pesquisador de Direito não se limite a criação de teorias jurídicas apartadas de prévia análise dos dados econômicos e sociais da realidade que irá regular. Um dos trabalhos pioneiros nesse sentido foi o realizado por Schaper, em 2014, que aplicou métodos computacionais para avaliar que normas da União Europeia a respeito de tributação poderiam ser consideradas claras e aplicadas sem a necessidade de decisões judiciais. Nesse mesmo trabalho Schaper argumenta que o Direito tem se mostrado uma das áreas mais refratárias ao uso e aplicação de tecnologias computacionais e de uma interdisciplinaridade não apenas de conceitos, mas de métodos.⁹

Recentemente (2018) o departamento de Direito Tributário da Universidade de Leiden, na Holanda, criou um projeto de pesquisa de Direito e ciência da computação, com o expresso objetivo de modelar o sistema tributário internacional como um sistema complexo adaptativo. O projeto busca, por meio da modelagem computacional, avaliar os efeitos de tratados novos ou modificados, a interação entre as jurisdições tributárias e o comportamento das estratégias de negócios ao longo do tempo (dinamicamente), de forma a responder questões como a existência de vazios tributários, a identificação de padrões legislativos e paraísos fiscais e como esses elementos podem ser extraídos e modelados a partir dos dados disponíveis sobre a tributação.¹⁰

⁷ FLACK, Jessica. Engineering better Legal Systems. **Santa Fe Institute Bulletin**, n. 23, 2009 p. 13-15.

⁸ COOTER, Robert. ULEN, Thomas. **Law and Economics**. Boston: Addison- Wesley, 2011, p. 02.

⁹ SCHAPER, M.G.H. A computational legal analysis of Acte Clair Rules of EU law in the field of direct taxes. **World Tax Journal**, Vol. 6, N. 1. pp. 77-108, 2014.

¹⁰ A página do projeto pode ser consultada em: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/data-science-research-programme/the-international-tax-system-as-a-complex-system>

O objetivo do presente trabalho, no contexto descrito, é buscar descrever a viabilidade de elementos mínimos de uma teoria da complexidade jurídica, por meio da aplicação de um modelo matemático-computacional ao sistema tributário brasileiro. Espera-se demonstrar que não apenas é possível descrever o sistema tributário como um sistema complexo, obtendo-se novas abordagens e perspectivas para enriquecer a teoria tributária, mas é igualmente possível buscar compreender os padrões legais que se formam no sistema jurídico e extrair elementos que, eventualmente, podem formar melhores estratégias de tributação e criação legislativa.

O modelo matemático utilizado é conhecido como modelo NK de paisagens de adaptação e é uma das formas de descrever as interdependências entre os elementos de um sistema complexo. Para ser possível a realização dessa modelagem é imprescindível que se busquem conceitos mais claros de complexidade, sistemas complexos e sua aplicação no Direito, o que será realizado no primeiro capítulo. O segundo capítulo tratará da conceituação de sistemas jurídicos e da possibilidade de descrever o sistema tributário como um sistema complexo adaptativo por meio de uma representação quantitativamente mais precisa, fazendo uso de dados coletados sobre o sistema tributário brasileiro. A detalhada explicação do modelo NK será fornecida no capítulo três onde se expandirá os conceitos relativos a aplicação da teoria de evolução a sistemas complexos adaptativos e ao sistema jurídico-tributário. Por fim, o capítulo quarto trará a descrição da implementação do modelo utilizado, o método de validação do modelo e a análise dos dados obtidos.

Busca-se, igualmente, incentivar o desenvolvimento e mostrar possibilidades de complementação, por meio de pesquisas empíricas e do uso do ferramental formal da ciência da complexidade, da já existente pesquisa sobre a complexidade jurídica que vem se desenvolvendo no Brasil.¹¹

Utiliza-se como guia uma tendência mundial em fazer da aplicação da ciência da complexidade no Direito uma forma de ampliar e aprofundar a pesquisa jurídica ao ser possível a apropriação de dados da realidade em uma quantidade e qualidade inéditas para a ciência do Direito. Se com a análise econômica do Direito foi possível alargar a capacidade de análise crítica por meio da análise econômica dos fenômenos sociais e jurídicos, espera-se que a adição da ciência da complexidade permita uma melhor compreensão da dinâmica e evolução do

¹¹ FOLLONI, André P. **A Ciência do Direito Tributário no Brasil**. São Paulo: Saraiva, 2013, p. 333 e ss; FOLLONI, André P. **Introdução à Teoria da Complexidade**. Curitiba: Juruá, 2016.

fenômeno jurídico-tributário e suas dependências e ligações com os fenômenos sociais e econômicos que busca regular.

Inicialmente, assinalou-se que a ideia comum de complexidade tributária se refere a quantidade de normas tributárias e sua difícil interpretação que resulta no moroso processo de conformação tributária. Ao se definir com clareza o conceito de complexidade, será possível analisar essas assertivas a partir da dinâmica de um sistema complexo e sugerir que, possivelmente, a diminuição do número de tributos ou mesmo a simples diminuição das normas tributárias não seja o caminho ideal para minimizar a complexidade tributária.¹²

De fato, talvez seja desejável incentivar a complexidade tributária, entendida de forma diversa e mais clara de acordo com a teoria dos sistemas complexos, e a partir da sua compreensão criar estratégias tributárias que controlem a complexidade do sistema tributário, maximizando seu desempenho. Espera-se demonstrar que, de problema a ser combatido, a complexidade do sistema tributário brasileiro pode ser descrita e entendida não como um sintoma de falhas do sistema, mas como uma característica essencial do sistema tributário e de todo sistema jurídico cuja compreensão é imprescindível para a uma aplicação efetiva e sustentável do Direito na modernidade, como um das principais tecnologias sociais que permitem a estruturação e o desenvolvimento social e econômico do Estado contemporâneo.

¹² RUHL, John B.; KATZ, Daniel M. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. **Iowa Law Review**, n.15-1, v.101, p.195-244, 2015.

1 O DIREITO COMO SISTEMA COMPLEXO

Este capítulo trará uma definição de complexidade proveniente da pesquisa em sistemas complexos e sistemas complexos adaptativos que originou as chamadas ciências da complexidade. Posteriormente, será realizada uma análise da obra do jurista norte-americano John Ruhl, que é um dos mais profícuos teóricos da aplicação da teoria da complexidade ao Direito e possivelmente a mais conhecida referência nos esforços para uma teoria da complexidade jurídica. Por fim, ainda seguindo os principais trabalhos publicados de Ruhl, será analisada a aplicação da teoria da evolução darwiniana, como um dos elementos principais das teorias da complexidade, ao sistema jurídico e como o processo evolutivo, biológico e jurídico, pode ser visto no contexto de uma paisagem de adaptação evolutiva.

1.1 INTRODUÇÃO À COMPLEXIDADE

Em uma tentativa de classificar os problemas com os quais a ciência da sua época se deparava, Weaver descreve três classes de fenômenos e como eles poderiam ser tratados. A primeira classe de problemas é aquela composta pelos chamados problemas da simplicidade. Esses problemas envolvem um pequeno número de variáveis e podem ser estudados com excepcional êxito através do método científico tradicional. A segunda é a classe dos problemas da complexidade desorganizada. Esses fenômenos apresentam uma imensa quantidade de variáveis, fracamente relacionadas. Nesse caso, as ferramentas e modelos estatísticos fornecem previsões precisas.¹³

A última classe, descrita por Weaver, trata dos fenômenos da complexidade organizada. Esses fenômenos se caracterizam por possuírem muitas variáveis, fortemente relacionadas. Quando a ciência tradicional se depara com os problemas da complexidade organizada, são insuficientes as ferramentas utilizadas para estudar a complexidade desorganizada e a simplicidade. Os modelos que descrevem um sistema pelo simples estudo de cada um dos seus componentes são incapazes de prever os resultados da complexidade organizada e as médias estatísticas e modelos estatísticos tradicionais não conseguem fornecer

¹³ WEAVER, W. Science and Complexity. **American Scientist**, v. 36, p. 536-44, 1948, p.537.

previsões adequadas às flutuações e ao caos presente nesse tipo de sistema. Faz-se necessário um novo ferramental para descrever e estudar esses sistemas. Seria necessária uma nova área científica: as ciências da complexidade.¹⁴

A ciência tem enfrentando com êxito a maioria dos fenômenos que procura explicar, com seus métodos e ferramentas; especialmente a partir da revolução newtoniana, o método científico reducionista tem prevalecido. A busca científica, desde então, é guiada pela simplificação e abstração de modelos universais; por cortar, dividir, reduzir o objeto de estudo a seus mais pequenos componentes e, então, buscar no máximo da divisão princípios unificadores¹⁵.

A filosofia reducionista pode ser capturada pela frase do físico Steven Weiberg: "A direção das flechas de explicação sempre aponta para baixo". Ou seja, em uma descrição científica, sempre deve-se buscar a explicação olhando para os seus elementos mais simples e fundamentais. Ao se buscar uma descrição reducionista da sociedade, por exemplo, se buscaria seus elementos constituintes mas básicos: as pessoas; e então, seguir-se-ia indagando se as pessoas não podem ser descritas por elementos mais básicos, como os seus órgãos constituintes, os órgãos, por células, as células pela dinâmica bioquímica, a bioquímica pela química e a química pela física, até que a descrição obtida pudesse ser escrita na forma de um sistema de equações previsíveis e em equilíbrio¹⁶.

1.1.1. Sistemas caóticos e sistemas dissipativos longe do equilíbrio

Uma das primeiras brechas no edifício do reducionismo se deu com o estudo científico do caos. Onde o caos começa a ciência clássica para, afirma Gleick. O estudo da desordem da atmosfera, das flutuações das populações selvagens, das oscilações do cérebro e

¹⁴ WEAVER, Warren. Science and Complexity. *American Scientist*, v. 36, p. 536-44, 1948, p.538.

¹⁵ PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. *Order out of chaos*. Bantam: New York, 1984, p. xi.

¹⁶ "The explanatory arrows always point downward" KAUFFMAN, Stuart A. **Reinventing the sacred: a new view of science, reason, and religion**, New York: Basic Books, 2008, p.10; KAUFFMAN, Stuart A. **Reinventing the sacred: a new view of science, reason, and religion**. New York: Basic Books, 2010, p.10. Existem inúmeras pesquisas que aplicam o formalismo da física-matemática ao comportamento social. Veja-se o campo de pesquisa chamado de Socio-physics, que possui publicações periódicas em um dos mais prestigiosos portais de publicação científica do mundo, o ArXiv.org, mantido pela Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. Em 2018 já foram publicados 25 artigos sobre o tópico no ArXiv, variando em temas como simulações de redes de comércio exterior até como a estrutura de socialização estratificada pela idade encoraja o comportamento social radical (<https://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent>).

do coração, da turbulência dos oceanos representava uma fronteira aparentemente intransponível. Até que na década de 70 cientistas unidos no estudo do caos, de várias áreas, encontraram um caminho através da desordem. Em pouco mais de uma década de intensa pesquisa a ciência do caos surgiu como disciplina autônoma e trouxe a descrição de como regras simples e previsíveis, podem gerar comportamentos caóticos e resultados desproporcionais ou mesmo, imprevisíveis¹⁷.

Quando Lorenz, em 1963, descreveu seu sistema de equações que gera comportamentos caóticos, essas equações eram simples e determinísticas, porém mostravam uma dinâmica errática, exibindo soluções que oscilavam irregularmente, nunca se repetindo, mas sempre se mantendo dentro de uma região delimitada. Isso é caos. Caos surge de regras simples e com comportamento bem determinado, previsível, mas que uma vez postas em ação, com o passar do tempo, geram comportamentos inesperados. No caso das equações de Lorenz, uma vez plotadas as trajetórias em três dimensões, elas se estabelecem num conjunto complicado, chamado de atrator estranho, que não é um ponto, ou uma curva ou mesmo uma superfície, mas sim um fractal¹⁸.

Duas características dos sistemas caóticos são especialmente relevantes: sua não linearidade e sua sensibilidade as condições iniciais. A diferença essencial entre um sistema linear e um não-linear é que o sistema linear pode ser dividido em partes. Uma vez dividido, cada parte é resolvida separadamente e finalmente, todas as soluções individuais são recombinadas para se chegar a uma resposta para todo o sistema. Essa forma de resolução permite simplificações fantásticas de problemas altamente complicados. Pode-se sintetizar dizendo que um sistema linear é precisamente igual a soma das suas partes¹⁹.

Entretanto, vários fenômenos não ocorrem dessa forma. Se as partes de um sistema vierem a produzir interferência, competição ou cooperação entre si, haverá interações não lineares envolvidas. Nesses casos, o princípio usado para a resolução de sistemas lineares falha. A maioria dos sistemas não lineares são impossíveis de serem resolvidos analiticamente. Um

¹⁷ GLEICK, James. **Chaos: making a new science**. New York: Penguin Books, 1988, p. 03 e 07-08.

¹⁸ STRONGATZ, Steven. H. **Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Massachusetts: Perseu Books, 1994, p. 301. Um fractal é uma geometria grosseira ou fragmentada que pode ser subdividida em partes, cada parte é uma cópia reduzida de todo. Matematicamente, um fractal é um conjunto de pontos cuja dimensão fractal excede sua dimensão topológica. Vários exemplos podem ser encontrados na natureza, como a geometria das nuvens, dos raios, de flocos de neve, a geometria costeira nos continentes, e a distribuição geométrica dos vasos sanguíneos em mamíferos. SORNETTE, Didier. **Critical Phenomena in Natural Sciences: chaos, fractals, self-organization and disorder. Concepts and tools**. Springer: Berlin, 2006, p. 121.

¹⁹ STROGATZ, Steven. H. **Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Massachusetts: Perseu Books, 1994, p.08.

sistema não linear não é igual a soma das suas partes.²⁰

A segunda característica, a sensibilidade às condições iniciais, é tão marcante em sistemas caóticos que se tornou uma das suas características principais. O caos seria equivalente a um sistema que possui dependências sensíveis as mudanças nele realizadas. Essa sensibilidade traduz-se de forma não intuitiva em relação aos comportamentos exibidos pelo sistema, sintetizado no icônico Efeito Borboleta: o bater de asas de uma borboleta no Brasil pode causar um furacão no Texas. O exemplo procura traduzir os resultados obtidos por Lorenz no início das suas pesquisas sobre caos. Ao informar dados com pequenos erros, na magnitude de algumas casas decimais, no programa que calculava seu conjunto de equações que simulava o clima, os resultados eram altamente desproporcionais à magnitude da diferença dos dados iniciais. Assim, uma pequena mudança nos dados iniciais transformava-se em diferença importante no resultado. A ideia é que em um sistema caótico pequenos distúrbios aumentam a uma velocidade exponencial, tornando previsões a longo prazo impossíveis.²¹

Dessa forma, os sistemas caóticos evidenciaram duas impossibilidades: o uso universal da análise reducionista de estudo das partes para a derivação de uma compressão do sistema como um todo e a capacidade de previsibilidade infinita, uma vez conhecidos os elementos e as regras que regem dado sistema. A ciência estudava um universo que funcionava à semelhança de um perfeito relógio; o caos trouxe consigo a incerteza para o centro das discussões científicas e em vez de negar essas incertezas, a ciência desenvolveu novos ramos para compreendê-la.²²

O segundo passo que leva à teoria da complexidade foi a descoberta dos chamados sistemas dissipativos longe do equilíbrio por Prigogine. Os sistemas longe do equilíbrio caracterizam-se por atingirem estruturas bem ordenadas em estados não equilibrados e, justamente através da presença do não-equilíbrio, adquirem propriedades chamadas de emergentes, que produzem estruturas funcionais através de um processo de auto-organização.

²⁰ GLEICK, James. **Chaos: making a new science**. New York: Penguin Books, 1988, p.15; STROGATZ, Steven. **H. Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Massachusetts: Perseu Books, 1994, p. 08-09.

²¹ LORENZ, Eduard N. **The essence of chaos**. London: UCL Press, 1995, p. 23-24; De fato, esse é o título do artigo de Lorenz sobre o tema em 1979, apresentado para a Associação Americana para o Desenvolvimento da Ciência: LORENZ, Eduard N. **Predictability: Does the Flap of a Butterfly's wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?** Disponível em: <http://static.gymportalen.dk/sites/lru.dk/files/lru/132_kap6_lorenz_artikel_the_butterfly_effect.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2018; GLEICK, James. **Chaos: making a new science**. New York: Penguin Books, 1988, p. 22; STROGATZ, Steven. **SYNC: how order emerges from chaos in the Universe, Nature, and Daily Life**. New York: Hyperion, 2003, p. 183.

²² MITCHELL, Melanie. **Complexity: a guided tour**. New York: Oxford Press, 2009, p. 19.

Estuda-se como sistemas desorganizados podem, espontaneamente, adquirir ordem.²³

A ordem surgiria, nesses sistemas longe do equilíbrio, como o resultado de uma batalha vitoriosa com a tendência natural do sistema à desordem (entropia), à medida que o sistema complexo absorve energia do ambiente circundante. O fluxo de dissipação e consumo de energia mantém o sistema fora do equilíbrio e, paradoxalmente, a própria entropia produz as condições necessárias ao surgimento da ordem.²⁴

A ciência sempre enfatizou a estabilidade, a ordem, a uniformidade e o equilíbrio como fatores fundamentais para a sobrevivência das estruturas organizadas. A maior preocupação recaiu no estudo de sistemas fechados e relações lineares. O caos e os sistemas longe do equilíbrio trazem o foco para a desordem, a instabilidade, a diversidade, o desequilíbrio, as relações não lineares, e a uma aguda percepção da passagem do tempo – a historicidade dos sistemas.²⁵

Entretanto, dizer que um sistema é caótico ou longe do equilíbrio não implica, automaticamente, classificá-lo como um sistema complexo. Sistemas caóticos podem surgir com um número reduzido de elementos e sistemas químicos podem exibir comportamentos fora do equilíbrio sem, necessariamente, apresentarem todas as marcas comumente atribuídas à complexidade. Inclusive, porque não existe uma definição unívoca de complexidade. Como aponta Charbonneau, se a turbulência é o cemitério das teorias para a física, a complexidade é a lápide das definições.²⁶

Em uma tentativa de mostrar as possíveis formas de medir, quantitativamente, a complexidade de um sistema, Seth Lloyd, listou, de forma não exaustiva, 41 formas diferentes que podem ser usadas para realizar essa mensuração. Entretanto, nenhuma delas seria de aplicação universal, válida para todos os tipos de sistemas complexos conhecidos.²⁷

Isso se deve ao fato que os sistemas complexos são fenômenos que não pertencem a uma única área da pesquisa científica. A literatura de sistemas complexos abrange desde de sistemas físicos, como o clima, sistemas biológicos e ecológicos, até aplicações em ciências sociais, economia e desenvolvimento de cidades. A variedade de áreas envolvidas e a dificuldade em estudar esses sistemas gera um vasto campo de pesquisa, unido pela busca de

²³ PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **Order out of chaos**. Bantham: New York, 1984, p. 143; LORENZ, Eduard N. **The essence of chaos**. London: UCL Press, 1995, p. 23-24.

²⁴ STROGATZ, Steven. **SYNC: how order emerges from chaos in the Universe, Nature, and Daily Life**. New York: Hyperion, 2003, p. 287.

²⁵ PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **Order out of chaos**. Bantham: New York, 1984, p. xiv-xv.

²⁶ CHARBONNEAU, Paul. *Complexity: a modeling handbook*. Princeton: Princeton University Press, 2017.p 01.

²⁷ LLOYD, Seth. Measures of complexity: a non-exhaustive list. **IEEE Control Systems Magazine**, 21, v. 4. 2001. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/939938/>> Acesso em: 10 jun. 2018.

descrições de princípios de organização e funcionamento desses sistemas.²⁸

1.1.2. Sistemas complexos adaptativos

Antes de buscar-se os limites de uma definição para a complexidade, deve-se realizar uma distinção básica: complexo e complicado. Um sistema é complicado quando formado por um grande número de partes fracamente interdependentes. Como uma imensa quantidade de blocos de montar com os quais se forma algum tipo de estrutura. Embora a ligação física deles pareça forte, na realidade não existe interdependência entre os elementos. Os blocos podem ser alterados e a estrutura modificada sem que nenhum bloco apresente relações necessárias com outros blocos específicos e a estrutura formada ao final é completamente dedutível e, até mesmo, esperada como um resultado do uso de cada um dos blocos. A qualidade molhada da água, por outro lado, não pode ser atribuída individualmente às suas moléculas. Essa qualidade emerge do comportamento da água como um todo e não pode ser reduzida ao comportamento das suas partes, nem pode ser esperada da observação individual das moléculas que a constituem.²⁹

Os sistemas complexos possuem uma espécie de dinamismo que os faz qualitativamente diferentes de objetos estáticos como chips de computadores ou flocos de neve, que são meramente complicados. Sistemas complexos são mais espontâneos e desordenados. Seu dinamismo exhibe a imprevisibilidade do caos e ainda assim, o caos não pode explicar a estrutura e coerência da auto-organização desses sistemas. Pode-se dizer que os sistemas complexos possuem a capacidade de unir ordem e caos em uma espécie única de harmonia. Esse ponto de harmonia é conhecido como a fronteira do caos, é onde os componentes do sistema nunca se estagnam e mesmo assim, nunca se perdem completamente em turbulência. É esse ponto que gera, pela sua própria dinâmica, a estabilidade em movimento necessária para o surgimento de padrões e estruturas altamente adaptáveis e resilientes, que são umas das

²⁸ A espantosa amplitude de aplicação da Teoria da Complexidade pode ser vista na diversidade de linhas de pesquisa do Instituto Santa Fé (www.santafe.edu), referência em pesquisas sobre complexidade e um das mais importantes instituições científicas atuais, que vai desde aplicações na economia, passando pela computação e inteligência artificial, biologia evolucionária e genética, até pesquisas sobre a diversidade da linguagem humana, formação histórica das sociedades, comportamento coletivo, teorias da decisão, teorias de conflito sociais, computação coletiva e projetos mais recentes como o projeto Feldstein, ainda em andamento, que pesquisa como surgem e se estruturam as regulações sociais (os sistemas jurídicos).

²⁹ HOLLAND, John. **Complexity: A very short introduction**. New York: Oxford University Press, 2014, p. 06.

principais marcas visíveis dos sistemas complexos.³⁰

Em uma definição mais formal, pode-se dizer que sistemas complexos são redes compostas de componentes que interagem entre si, de forma não linear, podendo surgir e evoluir através de auto-organização. Esses sistemas apresentam-se na fronteira do caos; nem completamente randômicos, nem completamente regulares, permitindo o desenvolvimento de comportamentos emergentes em escala macroscópica.³¹

Outra definição poderia descrevê-los como sistemas com vastas redes de componentes, sem controle central e com regras simples em relação ao sistema, que fazem surgir comportamentos coletivos complexos e sofisticadas formas de processamento de informação e adaptação através de aprendizado ou evolução.³²

Em um dos primeiros livros sobre teoria da complexidade que busca reunir todas as disciplinas essenciais, com as mais recentes teorias de cada área, define-se sinteticamente sistemas complexos como redes co-evolutivas de múltiplos níveis.³³

Comparando as definições observa-se vários elementos coincidentes e outros destacam-se como termos novos: evolução, adaptação e processamento de informação, por exemplo. Ocorre que, em muitos sistemas complexos, os agentes reagem às mudanças do sistema, adaptando-se a elas e modificando seu comportamento. Por sua vez, o sistema adapta-se ao novo comportamento dos agentes e entra em um ciclo de mudança e adaptação entre os vários níveis e componentes do sistema, criando uma constante dinâmica de retroalimentação de sinais e informações. A esses sistemas complexos dá-se o nome de Sistemas Complexos Adaptativos (CAS)³⁴.

A maioria dos sistemas complexos, observados em todas as áreas, exibem características similares que permitem a descrição de como se desenvolvem dinamicamente. Segundo Holland, pode-se apontar 7 características apresentadas por sistemas complexos, divididas em 4 propriedades e 3 mecanismos.³⁵

A primeira propriedade é a agregação. Ela diz respeito à emergência de

³⁰ WALDROP, M. Mitchell. **Complexity: the emerging science at the edge of the order and chaos**. New York: Touchstone, 1992, p. 12.

³¹ SAYAMA, Hiroki. **Introduction to the modeling and analysis of Complex Systems**. New York: Open SUNY, 2015, p. 03

³² MITCHELL, Melanie. **Complexity: a guided tour**. New York: Oxford Press, 2009, p. 12-13.

³³ THURNER, Stefan; HANEL, Rudolf; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: New York, 2018, p. 22.

³⁴ Usualmente, na literatura especializada abrevia-se o termo Complex Adaptive System para CAS. Adota-se, desde ponto em diante a mesma nomenclatura passando a designar os Sistemas Adaptativos Complexos pela referida sigla.

³⁵ HOLLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 10.

comportamentos de larga escala a partir da interação de agregados de agentes menos complexos. Agregados de agentes podem atuar com agentes eles mesmos, ou seja, o agregado de agentes passa a atuar como se fosse um agente singular, uma espécie de meta-agente. As interações desses meta-agentes podem, também, agregar-se em comportamentos de grupos de meta-agentes, em um sistema de interações de meta-meta-agentes. Quando esse processo é repetido diversas vezes obtém-se a estrutura tipicamente hierarquizada de um sistema complexo adaptativo. Essa estrutura hierarquizada, ocorre, entretanto, sem qualquer orquestração por parte de um controle central que dirija ou monitore as ações dos agentes. Um dos principais objetivos do estudo da complexidade em um CAS é buscar descrever como agentes simples produzem agregados altamente adaptativos cujo comportamento transcende o comportamento dos agentes individuais. As estruturas hierárquicas de um CAS mostram como qualquer desses sistemas pode ser descrito como uma rede de interações.³⁶

O primeiro mecanismo característico apontado é a marcação. Esse mecanismo facilita a formação de agregados, ao produzir formas de identificação dos agentes, e permite uma melhor interação seletiva dos componentes de um CAS, permitindo a filtragem, especialização e cooperação entre os agentes. Pode-se dizer que esse mecanismo se encontra na fundação da organização hierárquica comum de um CAS. O mecanismo de marcação descreve como os agregados se formam, como as redes interligam os agentes segundo as diferentes funções e propriedades comuns.³⁷

A segunda propriedade de um CAS é sua não-linearidade. A maioria do ferramental analítico matemático baseia-se na assunção de linearidade ou na possibilidade de simplificar fenômenos não lineares em modelos lineares. As interações entre os elementos de um CAS, de interferência, cooperação ou competição, serão tipicamente não lineares e, portanto, não sujeitas a soluções que busquem a mera soma das partes como resultado. As interações não lineares fazem que o comportamento dos agregados não possa ser adequadamente descrito por métodos de adição ou média, tão comumente utilizados na análise de vários tipos de fenômenos³⁸.

A terceira propriedade, indicada por Holland, são as redes de fluxos. Todas as

³⁶ HOLLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 11-12; MILLER, John H.; PAGE, Scott E. **Complex Adaptive Systems: An Introduction to computational models of social life**. Princeton University Press: Princeton, 2007. p. 95; GROSS, Claudius. **Complex and Adaptive Dynamical Systems: a primer**. Springer: Berlim, 2008, p. 01.

³⁷ HOLLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 13-15.

³⁸ HOLLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 15-23.

definições de CAS expostas anteriormente iniciam pela sua descrição como redes. Redes são estruturas formadas por pontos (vértices) ligados por linhas (arestas). As estruturas de ligações em rede são comuns a qualquer CAS e o fluxo constante de sinais ou informações flui incessantemente, variando com o tempo, por essa rede. Os vértices dessas redes são os agentes ou elementos do CAS, enquanto as conexões ou arestas designam as possíveis interações. As arestas e vértices podem aparecer ou desaparecer de acordo com a adaptação dos agentes e do próprio sistema aos estímulos internos e externos. Assim, os fluxos e as redes não são fixos no tempo. São padrões dinâmicos que refletem a adaptação constante do sistema.³⁹

Existem dois efeitos causados pela rede de fluxos de um CAS que devem ser tomados em consideração: os efeitos multiplicativo e de reciclagem. Quando um recurso é aplicado em um vértice da rede do CAS, esse recurso é passado de vértice para vértice, podendo ser transformado no caminho, produzindo uma cadeia de mudanças e reações que podem gerar efeitos de reforço das mais diversas formas e intensidades, considerando as interações não lineares através da rede, podendo causar um efeito multiplicador no resultado obtido. Esse efeito multiplicador será evidente nas mudanças evolucionárias do sistema e prejudicará as previsões de longo alcance baseadas na observação de pequenos desvios. Já o efeito de reciclagem descreve o efeito dos ciclos na rede de agentes e interações do sistema através de ciclos de retroalimentação. O efeito de reciclagem pode aumentar o resultado de cada ciclo realizado na rede, por meio da reciclagem de parte dos recursos utilizados e os efeitos totais dessa cadeia de reciclagem nos ciclos em rede podem ser surpreendentes.⁴⁰

A quarta propriedade é a diversidade. A diversidade encontrada em um CAS não é nem acidental, nem randômica. A diversidade produz, em sistemas complexos, vários mecanismos imprescindíveis aos sistemas, como especialização, responsividade, competição, sinergia, processamento coletivo de informações, redundância, proteção contra degeneração e perturbações externas. Cada espécie de agente preenche um nicho de ação específico definido pelas interações que o cercam. Se se retira um agente do sistema, criando um buraco, o sistema responderá com uma cascata de adaptações resultando em um novo agente que exercerá o papel do agente retirado, ocupando o mesmo nicho do antigo agente e realizando a maioria das interações perdidas.⁴¹

A diversidade também pode surgir quando pela dinâmica do CAS se cria um nicho

³⁹ NEWMAN, Mark. E. J. **Networks: An Introduction**. Oxford University Press: New York, 2010, 01.

⁴⁰ HOLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 23-27.

⁴¹ PAGE, Scott. **Diversity and Complexity**. Princeton University Press: Princeton, 2011, p. 197.

novo, fazendo surgir oportunidades para novas interações, que podem ser exploradas por modificações em outros agentes. A diversidade de um CAS é um padrão dinâmico, frequentemente persistente e coerente. Se ocorrem distúrbios nesse padrão, o padrão rapidamente repara a si mesmo assim que o distúrbio é removido. A diversidade observada em um CAS é o produto de progressivas adaptações.⁴²

Os princípios e mecanismos funcionam conjunta e dinamicamente. Assim, pode-se tomar o conceito de rede de fluxos conjugado com a diversidade, por exemplo. Nesse caso, se na rede de fluxos os agentes que participam dos ciclos fazem com que o sistema retenha recursos, os recursos assim retidos podem ser explorados por novas espécies de agentes mais eficientemente. Aquelas partes do CAS que exploram essas possibilidades prosperam, as partes que falham em reciclar seus recursos para aquelas partes que conseguem, perdem espaço. Isso cria um mecanismo básico de seleção natural, que induz o aumento da diversidade por meio da reciclagem. Da mesma forma, a reciclagem de recursos pelo comportamento do agregado de agentes diversos é não linear; por essa razão, não é possível que exista um único agente com as capacidades do agregado, essas capacidades são mais facilmente atingíveis através de um sistema distribuído de agentes interligados. Desta forma, não haverá em um CAS apenas uma pequena quantidade de agentes altamente adaptados explorando todos os recursos. Por fim, a estrutura em rede de agentes com regras simples, porém diversas, permite um sistema de interdependências contraditórias, que tende a ser robusto e ao mesmo tempo capaz de abrigar eventos de larga escala que não são produzidos pelas interações dos agentes a partir do nível mais básico do sistema, mas surgem como estruturas organizadas nos níveis superiores.⁴³

O terceiro e último mecanismo são os modelos internos. Os modelos internos são responsáveis pela dinâmica da antecipação em um CAS. Entender a antecipação requer entender um mecanismo que é por si mesmo complexo: como ocorre a formação de modelos internos em cada agente. Um agente não é uma unidade imutável e bem definida em qualquer. Um agregado de agentes que seguem regras simples comporta-se e pode ser tratado como um agente por si mesmo (um meta-agente). Esse agente deve selecionar padrões formados através do constante fluxo de informações recebido e deve converter aqueles padrões em mudanças em sua estrutura interna. Por fim, as mudanças em sua estrutura interna devem possibilitar ao agente antecipar as consequências que seguem quando aquele padrão (ou um similar) é

⁴² PAGE, Scott. **Diversity and Complexity**. Princeton University Press: Princeton, 2011, p. 35.

⁴³ HOLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 31-37; PAGE, Scott. **Diversity and Complexity**. Princeton University Press: Princeton, 2011, p. 36.

encontrado novamente.⁴⁴

Em um CAS os agentes transformam informações em modelos internos e desdobram as consequências temporais desses modelos para antecipar eventos futuros. Se as ações resultantes a essa antecipação de eventos se mostrarem úteis, o agente possui um modelo interno efetivo, caso contrário ele tem um modelo não efetivo. A dinâmica desses modelos no tempo causa uma seleção dos modelos efetivos, em detrimento dos não efetivos, e sua replicação. A esse processo se adicionam as forças de mudanças externas ao sistema, que podem forçar a adaptação e aparição de outros modelos mais efetivos diante do novos contextos. O último mecanismo são os blocos de construção. Via de regra, os modelos internos formam-se a partir de blocos de construção que representam simplificações de padrões que podem ser combinados e recombinaados. É assim que o modelo interno, criado a partir de exemplos limitados, pode dar conta de um ambiente que muda constantemente. Assim, através desses blocos de padrões e seu rearranjo nas mais diversas formas, pode-se decompor cenários inéditos em blocos conhecidos.⁴⁵

As sete características descritas são atribuídas aos Sistemas Complexos Adaptativos. Ainda que descritas com outros nomes, se um sistema exibir essas sete características ele poderá ser classificado como um CAS. Os Sistemas Complexos Adaptativos são muito diferentes da maioria dos sistemas estudados cientificamente. Eles exibem coerência quando expostos a mudança, por meio de ações condicionais e antecipações, e fazem isso sem nenhum controle central que possa orquestrar a dinâmica de adaptações, organização e padrões que neles surge. Esses padrões que surgem da dinâmica de interações entre seus elementos a partir dos níveis mais básicos do sistema são denominados padrões ou estruturas emergentes e, possivelmente, são a característica mais marcante de qualquer CAS.⁴⁶

O termo emergência, com esse contexto, foi forjado pelo filósofo e psicólogo britânico George H. Lewes em 1875. Segundo Lewes a resultante de cada fenômeno poderia ser descrita como a soma ou a diferença das forças que atual, simultaneamente, no sistema que lhe deu origem. Desta forma, cada resultante pode ser claramente seguida até seus componentes, porque eles são homogêneos e mensuráveis. O contrário acontece em comportamentos emergentes. Em vez de adicionar-se elementos mensuráveis a outros elementos mensuráveis,

⁴⁴ HOLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 31-37.

⁴⁵ HOLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 31-37.

⁴⁶ HOLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 39.

ou elementos de um tipo a outros elementos do mesmo tipo, há uma atuação simultânea de forças e elementos de tipos diversos. Assim, aquilo que emerge não guarda semelhança com seus componentes, à medida que suas interações são incomensuráveis e não podem ser reduzidas por sua soma ou subtração⁴⁷.

As propriedades emergentes não podem, desta forma, serem deduzidas das propriedades dos elementos constituintes do sistema, mas surgem da interação desses elementos. Essas estruturas emergentes são propriedades sistêmicas, porém frequentemente agem influenciando os próprios elementos que lhe deram origem, em um ciclo de retroalimentação. Essas estruturas, através dessa dinâmica complexa, surgem espontaneamente e na ausência de um orquestrador ou coordenador central. Os sistemas complexos adaptativos são comumente referidos, devido a essa propriedade, como sistemas auto-organizados: estruturas ou regras em níveis básicos levam a uma estrutura organizada em níveis elevados.⁴⁸

Algumas vezes, essas propriedades sistêmicas emergem de interações locais entre seus elementos sem qualquer influência externa. Nesse caso, o mecanismo é chamado de auto-organização. Em outros casos, estímulos externos podem concorrer para a formação de uma estrutura organizada, mas cuja evolução produz modificações estruturais por meio da seleção de padrões eficientes e adaptações entre seus próprios elementos de forma que a estrutura resultante sofreu auto-organização através do tempo.⁴⁹

Uma série de dificuldades surgem quando se procura entender o comportamento emergente de sistemas complexos. Procurar-se-á contornar essas dificuldades dividindo a descrição das estruturas emergentes em descrições integrativas e composicionais. A primeira busca descrever o comportamento emergente do sistema quando o comportamento dos seus elementos é conhecido. A segunda, ao inverso, trata de procurar descrever o comportamento dos elementos quando apenas o padrão emergente é conhecido.

No primeiro caso o comportamento emergente é geralmente imprevisível e surpreendente, pois não pode ser intuitivamente esperado da interação dos elementos do sistema. No outro caso, os padrões são bem conhecidos e pode-se esperar um certo grau de previsibilidade do seu comportamento, mas o que surpreende é a ausência de descrições que expliquem como a interação entre os elementos do sistema cria estes padrões ou estruturas.

⁴⁷ LEWES, George. H. **Problems of Life and Mind**. London: Trübner, 1875.

⁴⁸ WILENSKY, Uri.; RAND, William. **An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo**. The MIT Press: Cambridge, 2015, p. 07.

⁴⁹ ERDI, Peter. **Complexity Explained**. Springer: Kalamazoo, 2008, p.09.

Atribuir o mesmo comportamento ou padrão emergente do sistema ao elemento é impossível.⁵⁰

A aparente estabilidade dos padrões ou estruturas emergentes, comumente, leva a conclusões segundo as quais seus elementos são estáveis e possuem posições e funções bem determinadas. Esse é um engano baseado em uma visão equivocada entre os níveis de emergência integrativa e composicional, que faz com que sejam atribuídas as características de um nível a outro. Intuitivamente, em casos de emergência composicional, tende-se a ir do nível do comportamento agregado ao nível do indivíduo, atribuindo ao elemento atributos do agregado. Já no caso da emergência integrativa, tende-se a atribuir ao agregado o comportamento dos elementos que o compõe. Esse modelo mental é chamado de modelo determinístico centralizado e foi estudado na década de 1980 e início da década de 1990 como uma das principais barreiras na compreensão dos sistemas complexos, e na consequente formulação de tratamentos e soluções para os comportamentos emergentes. Pesquisadores sustentam que os fenômenos emergentes são endêmicos no contexto natural e social e que usar métodos que permitam descrevê-los e compreendê-los é vital para a ciência do século XXI.⁵¹

Ainda, é possível descrever a emergência como um meta-comportamento, que apresenta dois desafios centrais. Primeiro, o comportamento emergente é extremamente difícil de antecipar, uma vez que os efeitos estruturais de larga-escala são efeitos de um enorme número de interações não lineares que são impossíveis de analisar analiticamente. Segundo, o comportamento emergente pode ser simulado computacionalmente. Entretanto, o poder preditivo dessas simulações é bastante restrito, pois o comportamento emergente pode ser dependente, em intensidade variada, de detalhes entre as intrincadas interações entre suas partes, tornando a predição de seus padrões excepcionalmente difícil.⁵²

Por fim, Kauffman, distingue entre emergência ontológica e epistemológica. Emergência ontológica refere-se ao que constitui uma entidade real no universo: um tigre é uma entidade real ou apenas o agregado de partículas em movimento que o constituem? Se sim, ele será uma entidade ontologicamente emergente. Emergência epistemológica significa a incapacidade de deduzir ou inferir o fenômeno emergente a partir de leis físicas subjacentes ao mesmo, pois ele funciona como o produto necessário da evolução de suas estruturas e da organização de seus processos. No caso citado, o tigre será emergente, tanto ontológica quanto

⁵⁰ KAUFFMAN, Stuart A. **Reinventing the sacred: a new view of science, reason, and religion**. New York: Basic Books, 2010, p. 24.

⁵¹ WILENSKY, Uri.; RAND, William. **An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo**. The MIT Press: Cambridge, 2015, p. 08-11.

⁵² FIEGUTH, Paul. **An Introduction to Complex Systems: Society, Ecology, and Nonlinear Dynamics**. Springer: Ontario, 2017, p. 256-257.

epistemologicamente. A forma de conceituação de emergência de Kauffman será fundamental para a compreensão, posteriormente abordada, da centralidade de teorias biológicas em ciências da complexidade.⁵³

As regras que governam os elementos de um sistema qualquer, descrevem os limites das interações possíveis entre os elementos. Entretanto, deve-se recordar que os elementos de um CAS, usualmente, formam agregados que se comportam como meta-agentes. Esses meta-agentes serão apenas uma fração das combinações possíveis entre as interações dos seus elementos. Uma vez formados esses meta-agentes, existirão regras próprias para reger suas interações, que mesmo sendo novas, não podem violar as regras que permitiram que esses agentes surgissem. Em outras palavras, as regras dos níveis inferiores limitam as regras dos níveis superiores. A emergência, nesse contexto, surge como padrões ou propriedades que surgem sob as limitações das regras de interação do sistema. Em um CAS, propriedades emergentes usualmente ocorrem através da criação de novos níveis de organização através da co-evolução de informações e limites. Novas informações e fronteiras podem emergir da combinação dos blocos de construção nesse novo nível de organização. De fato, algumas propriedades podem emergir somente quando o sistema atinge um nível suficientemente elevado de organização.⁵⁴

O objetivo da pesquisa em complexidade, afastado das ideias do paradigma reducionista/newtoniano, é compreender e descrever padrões de organização dos sistemas complexos totalmente diferentes em escala e concepção das usuais descrições matemáticas dos sistemas físicos. Assim, essa busca por princípios e padrões de organização necessariamente coloca o pesquisador da complexidade em uma posição que não lhe permite ignorar o sistema estudado de forma total, ainda que sua preocupação, meios e limitações impostas pelos próprios conceitos e princípios da complexidade o afastem de pretensões e descrições totalizantes. Recepcionar e trabalhar com limitações de descrição e incertezas, e ainda assim produzir ciência e inovação, parece fazer parte do novo paradigma científico que começa a tonar-se dominante na pesquisa interdisciplinar de ponta.⁵⁵

⁵³ KAUFFMAN, Stuart A. **Reinventing the sacred: a new view of science, reason, and religion**. New York: Basic Books, 2010, p. 34-35.

⁵⁴ HOLLAND, John H. **Signals and boundaries: building blocks for complex adaptive systems**. Cambridge: MIT Press, 2012, p. 114.

⁵⁵ KAUFFMAN, Stuart A. **Humanity in a Creative Universe**. New York: Oxford University Press, 2016, p. 93.

1.2 DIREITO E COMPLEXIDADE

Discutir sobre o Direito como um sistema complexo significa recuar sobre as certezas cotidianas formadas sobre o sistema jurídico e formular questionamentos sobre presunções aparentemente simples e auto evidentes. O principal jurista a formular e buscar esses questionamentos e suas respostas é o norte-americano John Ruhl, que há mais de duas décadas escreve sobre Direito e complexidade, especialmente sua aplicação ao Direito Administrativo, Ambiental e mediação no sistema legal norte-americano. Os questionamentos fundamentais postos por Ruhl podem ser divididos em evolucionários e estruturais.⁵⁶

Nos seus questionamentos evolucionários a sua principal questão seria descrever como o Direito evolui e que tipo de evolução é essa. Posteriormente, questiona se as mudanças normativas que se presencia no sistema legal são coincidentes com o conceito darwiniano de evolução⁵⁷.

O próximo conjunto de questionamentos é estrutural, e se inquire sobre o próprio significado do sistema jurídico. O que se quer dizer por sistema jurídico; como ele se comporta; quais são seus limites; como processa as informações que nele entram e que tipo de informações ele produz em resposta. Por fim, Ruhl propõe questões de escalabilidade temporal e funcional,

⁵⁶ RUHL, John B.; RUHL JR, Harold J. The Arrow of the Law in modern Administrative States: using complexity theory to reveal the diminishing returns and increasing risks the burgeoning of Law poses to Society. **U.C. Davis Law Review**, n.405, p. 407-481, 1997; RUHL, John B.; SALZMAN, James E. Mozart and the Red Queen: The Problem of Regulatory Accretion in the Administrative State. **Georgetown Law Journal**, n.59, v. 91, p. 757-849, 2003; RUHL, John B. Regulation by Adaptive Management - is it Possible? **Minnesota Journal of Law, Science & Technology**, n. 151, v.7, p. 22-57, 2006; RUHL, John B. General Design Principles for Resilience and Adaptive Capacity in Legal Systems: Applications to Climate Change Adaptation Law. **North Carolina Law Review**, No.464, p.1374-1400, 2011; RUHL, John B. Managing Systemic Risk in Legal Systems. **Indiana Law Journal** n.13-1, v.89, p.560-602, 2014; RUHL, John B. Thinking of environmental Law as a Complex Adaptive System: how to clean up the environment by making a mess of environmental Law. **Houston Law Review**, v.34, n.4, p.935-1000, 1997; RUHL, John B. The Co-Evolution of Sustainable Development and Environmental Justice: Cooperation, then Competition, then Conflict. **Duke University Law & Policy Forum**, Vol. 9, p.161-185, 1999; LANT, Christopher. L.; RUHL, John B.; KRAFT, Steven. E. The Tragedy of Ecosystem Services. **BioScience** n.58, v.10, p.969-974, nov. 2008; RUHL, John B. Thinking of Mediation as a Complex Adaptive System. **Brigham Young University Law Review**, 1997; RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1408, mar. 1996; RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 885, jun. 2008; RUHL, John B. Panarchy and the Law. **Ecology and Society**, v.17, n.3, 2012; RUHL, John B.; KATZ, Daniel Martin. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. **Iowa Law Review**, n.15-1, v.101, p.191-243, fev.2015.

⁵⁷ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1408, mar. 1996.

questionando como o sistema jurídico será em um ano ou em uma década, ou como pode ser usado para fazer mudanças nos vários aspectos da vida social⁵⁸

As pessoas, individual ou coletivamente, respondem e adaptam-se aos sistemas jurídicos que eles mesmas contribuem para construir e às mudanças nas leis que emanam das instituições legais por elas desenvolvidas. Mas, ao mesmo tempo, as leis e suas interpretações mudam e adaptam-se em resposta a mudanças na sociedade. Qual a dinâmica dessas mudanças mútuas provenientes da necessária interrelação entre o sistema jurídico e a sociedade? Se o sistema jurídico e a sociedade coexistem e evoluem no tempo, um é necessário ao outro para definir a si mesmo. Entretanto, geralmente, a preocupação em descrever e pesquisar recai sobre apenas um deles: como o Direito reage à sociedade ou como a sociedade reage ao Direito⁵⁹.

Argumenta-se, entretanto, que o estudo do sistema legal sem a necessária atenção aos questionamentos que o tornam um sistema e sem uma adequada descrição do seu comportamento dinâmico e não desagregado do sistema social e econômico é incompleto. As teorias da complexidade, segundo Ruhl, vem ao encontro dessa necessidade e podem fornecer teorias descritivas bem como o ferramental prático para essa tarefa.

Além disso, as propriedades de um CAS podem ser observadas em uma plêiade de fenômenos, como na economia, pobreza, guerra, terrorismo, crime, no meio ambiente e outras áreas que se procura regular pelo Direito. Sendo assim, um primeiro questionamento seria perquirir em que a complexidade desses sistemas pode adicionar em informações para o Direito e se o conhecimento do funcionamento desses sistemas como um CAS não permitiria a elaboração de melhores leis e teorias jurídicas aplicáveis a sua regulação. Em um segundo momento, pode-se questionar se o Direito em si mesmo não é um sistema adaptativo complexo, como os outros sistemas objetos da sua regulação. E se o sistema jurídico e os seus objetos de regulação são um CAS e evoluem conjuntamente, o que isso significa para como se constroem e interpretam as leis e os demais elementos desse sistema sociojurídico⁶⁰.

⁵⁸ RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 885, jun. 2008.

⁵⁹ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 851-852, 1996.

⁶⁰ RUHL, John B. Panarchy and the Law. **Ecology and Society**, v.17, n.3, 2012; RUHL, JOHN B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 887-888, jun. 2008

Se o sistema jurídico pode ser descrito como um CAS ou mesmo se os sistemas que ele regula são CAS, os modelos oferecidos pela Teoria da Complexidade parecem adequados para a exploração e questionamento sobre a estrutura e dinâmica do sistema jurídico.⁶¹

Antes de iniciar-se uma análise da Teoria da Complexidade aplicada ao Direito, em uma tentativa de síntese de uma Teoria da Complexidade Jurídica, deve-se distingui-la de outras teorias que poderiam ser consideradas como adequadas para o mesmo propósito. Nesse expediente segue-se, estritamente, a análise de Ruhl, sobre as três teorias que poderiam realizar análises semelhantes: a Análise Econômica do Direito, a Teoria dos Jogos e a Teoria Geral dos Sistemas.

A distinção entre as duas primeiras teorias pode ser feita com a aplicação da divisão de Weaver sobre os problemas científicos. Os modelos baseados em Análise Econômica do Direito estudam o nível de eficiência do mercado projetando as interações entre uma infinidade de atores racionais que representam a média do comportamento de massas infinitas. A Teoria do Jogos, por sua vez, estuda modelos ideais de interação em estratégias bilaterais. Quando um agente interage com poucos agentes, pode-se traçar todas as suas potenciais ações e reações; da mesma forma, quando um agente é confrontado com uma infinidade de outros agentes, pode-se considerar a média dessas ações e reações. É entre esses dois extremos, quando um agente interage, com fortes interdependências, com um número moderado de outros agentes, que essas ferramentas de análise funcionam precariamente.⁶²

As interações no sistema legal encontram-se nessa posição. Não se enquadram perfeitamente em modelos bilaterais, pois existem muitos agentes interagindo simultaneamente. Por outro lado, não se pode ignorar o comportamento idiossincrático, pela utilização de médias associadas com um número infinito de agentes que se comportam racionalmente. Nenhum advogado irá redigir um recurso baseado na média das decisões de um determinado tribunal se ele sabe quem serão os julgadores, individualmente, e pode conhecer a opinião e histórico de decisão de cada um sobre aquele determinado tema. Assim, parece que, no sistema legal, agentes interagem de uma forma que sugere que as diferenças entre eles importam.⁶³

⁶¹ RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. *Georgia State University Law Review Symposium Issue*, No. 313, p.885-912, p. 890, jun. 2008.

⁶² BEINHOCKER, Eric D. **The origins of wealth**. Boston, Harvard Business School Press, 2006, p. 03-71; MILLER, John H.; PAGE, Scott E. **Complex Adaptive Systems: An Introduction to computational models of social life**. Princeton University Press: Princeton, 2007. p. 04-05 e 221; SHUBIK, Martin. Game Theory, Complexity, and Simplicity Part II: Problems and Applications. *COMPLEXITY*, Vol.3, n.3, p.36-45, Dez. 1998.

⁶³ RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. *Georgia State University Law Review Symposium Issue*, No. 313, p.885-912, p. 889-890, jun. 2008.

Em relação à Teoria Geral dos Sistemas, segundo o ponto de vista esposado por Ruhl, ela afirmaria que apenas o Direito define o que é e o que não é Direito, e cada lei deveria participar dessa definição. Dessa forma, ela não trataria de forma satisfatória os fenômenos de caos e complexidade devido às restrições descritivas que impõe em relação à interação e troca de informações entre os vários sistemas fechados, diversos do Direito, que descreve. Assim, o que chamamos de Direito seria um sistema autônomo interagindo com outros sistemas autônomos, em vez de um Direito que co-evolui, com inúmeras e fortes ligações com os outros sistemas sociais, que se adaptam dinamicamente⁶⁴.

Considerando a forte interdependência entre o Direito e a sociedade, formando um sistema necessário “Direito e Sociedade” ou sociojurídico, que se define mútua e continuamente, a teoria da complexidade parece ser a alternativa mais apta a descrever estruturalmente esse sistema. A passagem de sistemas físicos e biológicos para sistemas sociais esbarra na dificuldade que humanos são os modeladores intencionais dos sistemas sociais. Quando se fala de um ecossistema como um CAS, os insetos e plantas não são conscientes da rede de interações a que pertencem e certamente não procuram voluntariamente modificá-lo. Parece, quando visto dessa maneira, que embora se possa identificar vários sistemas como CAS, o sistema humano, especialmente o sistema jurídico, apresentaria dificuldades inafastáveis uma vez que o sistema jurídico é o espaço no qual os seres humanos criam as regras para os outros sistemas sociais.⁶⁵

Porém, a essa formulação pode-se contrapor dois argumentos. Primeiro, o sistema jurídico, como uma fonte de regras para outros sistemas, deve levar em consideração como esses sistemas operam. Assim, minimamente, o Direito deveria ser pensado incorporando as qualidades de um CAS, a fim de regular mais eficientemente outros Sistemas Adaptativos Complexos. Segundo, o Direito, como um conjunto de normas jurídicas, é o produto de um conjunto de pessoas e instituições sociais. As leis, nesse caso, são uma propriedade emergente do sistema jurídico do mesmo modo que os preços são uma propriedade emergente dos mercados. Pensar o contrário seria imaginar que o sistema jurídico seria o único sistema social

⁶⁴ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 902-905, 1996. Deve-se observar que embora Ruhl busque uma limitação bem definida entre a Teoria Geral dos Sistemas, a Análise Econômica do Direito e a Teoria da Complexidade, expondo as limitações das duas primeiras e demarcando com precisão seu alcance, a maior parte da literatura técnica contemporânea sobre sistemas complexos utiliza elementos dessas teorias livremente. A teoria dos jogos é utilizada em sistemas complexos até seu limite descritivo ser alcançado e da mesma forma a Análise Econômica do Direito empresta elementos a Teoria da Complexidade Econômica.

⁶⁵ RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 897, jun. 2008.

em que as mãos invisíveis da complexidade não atuam, mesmo possuindo todas as características e propriedades de um CAS⁶⁶.

Apresenta-se uma lista comparativa, mas não exaustiva, das propriedades de um CAS, os princípios teóricos da Teoria da Complexidade e sua correlação com fenômenos do sistema jurídico, para que se observe a correlação descritiva de cada elemento do sistema jurídico com sua contraparte em um CAS⁶⁷. Conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Correlação entre um CAS e o Sistema Jurídico

Propriedades dos agentes	Princípios da Teoria de CAS	Exemplos do Sistema legal
Heterogeneidade	Um CAS é composto por uma heterogeneidade de agentes autônomos	Corpos legislativos, tribunais, agências reguladoras, advogados e clientes
Regras determinísticas	Os agentes interagem e adaptam-se mutuamente interagindo com regras determinísticas	Os tribunais interpretam as leis, os corpos legislativos mudam as leis ou as criam; tribunais superiores reformam as decisões de instâncias inferiores; criam-se agências reguladoras que determinam regras administrativas, que são revisadas pelos tribunais e todo os níveis acima interagem e podem ser movimentados pela ação dos advogados.
Relações não lineares	A interação entre os agentes não produz comportamentos contínuos, proporcionais as relações estabelecidas ao longo do tempo; mudanças bruscas e descontinuidades ocorrem com frequência	As mudanças de liderança política podem significar mudanças legislativas; novas leis são aprovadas e antigas são revogadas ou caem em desuso; tribunais reformam suas decisões, até mesmo muitas consideradas tradicionais, algumas vezes de forma inesperada.

⁶⁶ RUHL, John B. Thinking of environmental Law as a Complex Adaptive System: how to clean up the environment by making a mess of environmental Law. **Houston Law Review**. v.34, n.4, p.935-1000, p.980, 1997; RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 897, jun. 2008.

⁶⁷ RUHL, John B.; KATZ, Daniel M. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. **Iowa Law Review**, n.15-1, v.101, p.191-243, fev.2015.

Conectividade em rede de reforço através de retroalimentação	Há uma alta conectividade entre os agentes, partes e níveis do sistema, criando uma rede através da qual a informação flui em intrincados ciclos.	Os vários graus de jurisdição; a estrutura hierárquica das competências legislativas; fiscalizações e as correições entre e dentro das várias instituições; respostas legislativas à provocações judiciais
Emergência e agregados	O comportamento do sistema emerge do agregado da rede de conexões causais entre os elementos do sistema, que não pode ser explicado pelo estudo dos elementos ou das relações, individualmente.	Várias leis foram reformadas várias vezes desde a sua criação, através de inúmeras novas redações, adições e subtrações de dispositivos legais e reinterpretações doutrinárias e judiciais em inumeráveis casos. Inquirir o que é o Código Tributário Nacional ou o Código Penal consultando apenas o seu texto original ou sua declaração de motivos ao tempo da sua redação, não retornará uma resposta adequada sobre o que são essas leis para o atual estado do sistema jurídico.
Dependência de Caminho	O próximo estado do sistema depende da informação que fluiu através do sistema através de todos os seus estados anteriores. Por esse motivo, é impossível restabelecer o sistema a um estado anterior. o Sistema é histórico.	Mesmo não sendo possível compreender o estado atual de uma determinada lei apenas olhando seu estado inicial (como foi originalmente redigida e motivada), esse estado inicial, assim como todas as mudanças que foram realizadas e a fizeram passar para fases diversas de interpretação ou redação são necessárias para o entendimento atual do seu estado. Existe assimetria temporal no sistema.
Estrutura auto-organizada	A medida que o sistema evolui, ele tende a se organizar em torno de um conjunto de regras estruturais fundamentais que fornecem estabilidade	Os sistemas jurídicos tendem a se organizar ao longo do tempo, em torno de um conjunto fundante de regras jurídicas básicas:

	ao comportamento do sistema	constituições, princípios jurídicos, etc.
Criticalidade	Mesmo possuindo estruturas fundamentais que exibem comportamento estável, as qualidades dinâmicas do sistema (não-lineariedade nas relações, retroalimentação em rede) levam o sistema a mudanças, de forma que o sistema evolua sob um conjunto de comportamentos de desequilíbrio estável, próximo da fronteira com o caos.	O sistema legal está continuamente mudando a interpretação das leis através dos tribunais e de estímulos doutrinários em resposta as mudanças e eventos impactantes da sociedade.
Distribuição dos eventos em Leis de potência	A distribuição de eventos do sistema não possui uma distribuição normal, mas invés disso apresenta propriedades assintóticas com muitos pequenos eventos e alguns poucos grandes eventos.	As cortes superiores reformam entendimentos sumulados com pouca frequência; Nos EUA uma pequena fração das opiniões jurídicas publicamente registradas nos tribunais (0,025% de 4 milhões) contam com mais de 80% de todas as citações ⁶⁸ .
Resistência adaptativa e capacidade de resiliência	Como um resultado desses comportamentos internos, o sistema como um todo mostra-se resistente a perturbações externas e resiliente ao retornar ao seu estado de auto-organização, ou próximo a ele, depois de sofrer perturbações.	Enquanto algumas leis são criadas ou reformadas com facilidades, outras, geralmente mais estruturais, requerem tremendo esforço e tempo. Veja-se o lapso temporal necessário para o novo Código Civil, os vários projetos longamente esquecidos de um novo Código de Processo Penal, etc.
Transições de fase	Se levado muito distante do seu estado crítico de auto-organização, por uma perturbação massiva ou por perturbações menores, mas	Pressões políticas, sociais ou econômicas podem levar a alterações drásticas no sistema legal ou levar o sistema a um constante

⁶⁸ SMITH, Thomas A. The Web of Law, *San Diego Law Review*. n.44, v.309, p. 324–328, 2007.

	que exerçam constante pressão, o sistema pode entrar em um ponto sem retorno de não linearidade e mover-se para um novo conjunto de padrões de comportamento, muitas vezes imprevisível.	estado de perturbação que crie as condições para comportamentos novos ou mesmo inesperados (revoluções, mudanças de forma de governo, promulgação de nova constituição)
--	--	---

Fonte: RUHL, JOHN B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 898-901, jun. 2008, com adaptações do autor.

Obviamente mapear descritivamente os elementos do sistema jurídico em comparação com um CAS não prova formalmente que o sistema jurídico é um CAS. Entretanto, não existe protocolo unívoco para a definição de um sistema complexo, sendo o mapeamento de suas características comuns o mais usado. Além disso, nesse estágio descritivo, deveria ser suficiente mostrar que o modelo de um CAS se mostra útil para apontar pontos-chaves e levantar questionamentos relevantes no sistema jurídico.⁶⁹

Seguindo os passos de Ruhl, na sua caracterização do sistema jurídico como um CAS, serão observados dois principais modelos descritivos, que perpassam todo o corpo da sua obra: as características de caos, emergência e catástrofe inerentes ao sistema jurídico enquanto um sistema de interações não-lineares e a sua dinâmica de co-evolução e adaptação.

1.2.1 Incertezas do caos

Se houvesse um sistema legal totalmente autônomo do sistema social, as normas jurídicas não mudariam. Inexistiria, na ausência da interferência humana, o que as faria se desenvolver ou evoluir. De fato, estritamente, as leis nunca mudam, elas são alteradas e são desenvolvidas por uma vontade externa. Entender o porquê dessas mudanças e em que direção acontecem são perguntas que fazem parte do conjunto de questionamentos fundamentais de Ruhl, que poderão apenas ser adequadamente respondidas quando se toma o sistema sociojurídico como ponto de partida. As leis mudam porque a sociedade muda e a despeito de quão perfeitamente concebida seja uma lei, em determinado instante, a sociedade, dentro de um

⁶⁹ RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, p. 901, jun. 2008.

lapso temporal suficientemente longo, irá mudar até que seja necessária a alteração formal ou a reinterpretação daquela determinada lei⁷⁰.

Ao mesmo tempo, a sociedade muda e adapta-se em resposta as mudanças ocorridas no sistema legal. Sendo, portanto, mais adequado se pensar em um sistema sociojurídico que em dois sistemas: social e jurídico, separados e distintos. Certamente, se houvessem mudanças sociais significativas que implicassem no fim do Imposto de Renda, haveria mudanças sociais e jurídicas que extrapolariam os aspectos imediatamente afetos à alteração tributária, alguns previsíveis e desejáveis, outros completamente imprevisíveis e talvez totalmente indesejáveis. Os ecossistemas e o clima são exemplos clássicos de CAS exatamente por exibirem claramente essa cadeia de interdependências marcantes e, mesmo assim, mostrarem graus surpreendentes de adaptabilidade e sustentabilidade. Igualmente, o clima e os ecossistemas são exemplos clássicos de sistemas onde se pode observar comportamentos caóticos.⁷¹

Procurar modelar o sistema sociojurídico com esse tipo de dinâmica encontra duas grandes dificuldades: os seres humanos e a co-evolução do ambiente onde eles existem. Os seres humanos tornam a descrição e análise do sistema difícil devido ao elemento volitivo. Quando se descreve um sistema matematicamente, tem-se a certeza que os componentes seguirão as regras determinadas no início da simulação. Por outro lado, a habilidade humana de exercer sua vontade (reescrevendo ou desobedecendo às regras) elimina qualquer possibilidade de se produzir um modelo estacionário acurado⁷².

Além disso, o mundo real apresenta o sistema sociojurídico como um amplo sistema co-evolutivo, o que significa que eventos como desastres de todos os tipos, crises sociais e econômicas podem perturbar o sistema e até mesmo levá-lo ao colapso se ele não for capaz de resistir a esses eventos. Entretanto, afirma Ruhl, essas dificuldades podem ser contornadas com o uso do ferramental apropriado para descrever as dinâmicas de perturbações e turbulências, existentes em sistemas complexos. E ainda seria possível usar, argumenta Ruhl, um dos fatores inicialmente mais problemáticos como um dos parâmetros fundamentais do sistema. Pode-se representar a incerteza inerente à vontade humana em um tipo específico de modelo de comportamento, chamado atrator estranho. Atratores são visualizáveis em representações

⁷⁰ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1408, mar. 1996

⁷¹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1409-1410, mar. 1996

⁷² RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 866, 1996.

gráficas, chamadas espaços de fase, de trajetórias de sistemas dinâmicos. Eles possuem esse nome porque visualmente o sistema é atraído para essas regiões de comportamento e, uma vez nelas, repetem os padrões matematicamente característicos daquele atrator⁷³.

Dessa forma, uma primeira representação da interação do Direito, sociedade e o ambiente onde estão inseridos, pode ser feita por meio de analogias com os sistemas dinâmicos não-lineares. Inicia-se essa representação descrevendo o espaço do sistema como a completa dimensão que comporta todos os elementos e interações no sistema sociojurídico de forma tão ampla quanto se deseje definir esses domínios. As regras da dinâmica do sistema são as normas jurídicas em si mesmas, por parte do Direito e as regras éticas e culturais por parte da sociedade. O estado inicial do sistema seria o ponto de surgimento da própria sociedade e do Direito que a regula, mas para efeitos de estudo pode ser qualquer ponto arbitrário que se queira examinar. Por fim, a trajetória do sistema seria a direção e a evolução histórica do sistema sociojurídico.⁷⁴

Nesse primeiro modelo, o objetivo geral do Direito, como descrito por Ruhl, no sistema sociojurídico, seria promover a sustentabilidade do sistema. Ou seja, possibilitar ao sistema sobreviver ao longo do tempo, a despeito de possíveis eventos inesperados e perturbações do meio exterior e internas. Alcançar esse estado de sustentabilidade, para um CAS, significa alcançar um ponto especial para o sistema que garanta uma mistura ótima de comportamentos dinâmicos necessários para sustentar o sistema, esse ponto encontra-se na fronteira entre a ordem e o caos.⁷⁵

Usualmente, no estudo da dinâmica de sistemas não-lineares, trabalha-se com três tipos de atratores, sendo dois deles responsáveis por comportamentos ordenados. Os atratores de ponto fixo e os de ciclos limitado representam dois tipos de comportamento bem definidos: o atrator de ponto fixo representa o comportamento que atingiu um estado contínuo e homogêneo e o atrator de ciclo limitado representa aquele comportamento que, embora não homogêneo, repete a si mesmo indefinidamente. Diferentemente desses dois, os atratores estranhos são marcadamente não regulares e exibem propriedades não tradicionais. Entre essas

⁷³ STRONGATZ, Steven. H. **Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Massachusetts: Perseu Books, 1994, p. 210.

⁷⁴ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 867, 1996.

⁷⁵ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 857, 1996.

propriedades, por exemplo, dimensionalidade fractal, aperiodicidade e sensibilidade a pequenas mudanças nas condições iniciais⁷⁶.

A presença de sensibilidade em relação às condições iniciais, mesmo em um sistema ditado por regras simples e determinísticas, levará à produção de comportamentos altamente complicados e randômicos, que é uma característica inconfundível do caos. Embora as regras de um sistema que apresente comportamento caótico possam ser simples, a estrutura de organização do sistema está longe de ser. A manifestação de comportamento caótico depende não somente das regras que ditam a dinâmica do sistema, mas também de outros parâmetros estruturais interdependentes. Alterar qualquer parâmetro do sistema pode alterar a manifestação do caos⁷⁷.

Se a interação entre o Direito e a sociedade pode ser descrita por meio de analogias com sistemas dinâmicos não-lineares, o sistema sociojurídico, por conter os elementos típicos de um sistema não-linear, tem o potencial de experienciar o caos⁷⁸.

Para compreender isso, primeiramente, deve-se caracterizar os atratores do sistema sociojurídico. As leis e regulações administrativas são análogas aos atratores de ponto de fixo ou ciclo limitado cuja função é fixar as relações em certos padrões dentro do sistema sociojurídico. Assim, pode-se modelar leis que busquem manter padrões de comportamento homogêneo, ou leis que, embora permitam uma amplitude de variação de comportamentos, os mantêm dentro de limites bem definidos. Entretanto, ao limitar as opções do sistema, as regulações diminuem a sua adaptabilidade por reduzir a amplitude de uso das liberdades inerentes ao exercício da vontade, que será representada pelos atratores estranhos, caóticos. Usualmente, o sistema legal usa e preocupa-se em modelar, na sua estrutura sistêmica, excessivamente leis e regulações, atratores de ponto fixo e ciclo limitado, na sua busca por previsibilidade. Os atratores estranhos, por não serem limitados por propriedades rígidas, no entanto, podem se adaptar às perturbações com maior eficiência⁷⁹.

⁷⁶ GLEICK, James. **Chaos: making a new science**. New York: Penguin Books, 1988, p. 59-60; STRONGATZ, Steven. H. **Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Massachusetts: Perseu Books, 1994, p. 210.

⁷⁷ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 877, 1996.

⁷⁸ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 880, 1996

⁷⁹ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 907-908, 1996; RUHL, John B; RUHL JR, Harold J. The Arrow of the Law in modern Administrative

Adicionalmente, como procura-se descrever sempre o apenas o sistema jurídico, na outra metade dessa descrição podem existir regulações não jurídicas, definidas socialmente, tais como ética, tradições, ou mesmo a força bruta de uma revolução, que se tornem atratores competitivos. Os atratores podem ser baseados em regras legais e sociais. Essas regras co-evoluem como componentes do sistema.⁸⁰

As características marcantes do caos, como a sensibilidade às condições iniciais, devem ser observadas em conjunto com a característica da emergência dos sistemas complexos, afinal o sistema sociojurídico tem completa capacidade de operar como um CAS.⁸¹ Dessa forma, a irreducibilidade do comportamento dos fenômenos emergentes está presente. Isso significa que remover ou mudar qualquer elemento do sistema pode potencialmente levar a mudanças no sistema como um todo, uma vez que as interações que levam ao comportamento emergente podem não ser mais possíveis depois da exclusão de um dos seus elementos, não compensada pelo sistema. Se o sistema perde elementos que não consegue repor, ou está sofrendo perturbações e turbulências do ambiente externo de grande amplitude, pode apresentar falhas críticas, levando seus atratores a quebrarem em uma descontinuidade repentina, empurrando todo o sistema para uma nova fase, um novo regime, completamente imprevisível. Isso é o que se chama catástrofe. Após o sistema ultrapassar o ponto de bifurcação da catástrofe, ele pode chegar a um estado caracterizado por um atrator cujo comportamento é imprevisível ou completamente desconhecido⁸².

Passando o ponto de catástrofe, o estado anterior não pode ser retomando. Todos os sistemas dinâmicos possuem uma flecha de irreversibilidade temporal: seu processo dinâmico não pode ser revertido, de forma a se recriar uma condição passada. O Direito compartilha a mesma propriedade sendo um CAS: ele se desenvolve como parte de um sistema sociojurídico

States: using complexity theory to reveal the diminishing returns and increasing risks the burgeoning of Law poses to Society. **Davis Law Review**. n.405, p. 407-481, p.422,1997.

⁸⁰ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 876, 1996; KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 215-221.

⁸¹ RUHL, John B. Thinking of environmental Law as a Complex Adaptive System: how to clean up the environment by making a mess of environmental Law. **Houston Law Review**. v.34, n.4, p.935-1000, p.938, 1997.

⁸² RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p.877- 878, 1996

que não pode ser restaurado a um ponto anterior no passado, tanto quanto não se pode recriar o clima da tarde de natal de 1982 em São Petersburgo.⁸³

Logo, sendo o sistema sociojurídico um CAS, ele pode experimentar e experimentará, inevitavelmente, caos e catástrofes. Na evolução do Direito Ambiental, por exemplo, pode-se observar que as várias catástrofes ecológicas e acidentes inspiraram novas leis e procedimentos. Os eventos imprevisíveis de catástrofes naturais podem forçar ações do legislador ou decisões do judiciário que alteram o sistema jurídico causando vários processos de adaptação de interpretações normativas ou mesmo o surgimento de novas legislações, que causarão reflexos em todo sistema jurídico. O grande número de leis e regulações administrativas ambientais pode levar a interações complexas. Essas interações levam a comportamentos emergentes, muitas vezes indesejados e não previstos, que uma vez percebidos, são tratados com ainda mais leis e regulações administrativas para controlar o comportamento emergente indesejado, assim alimentando um ciclo de produção normativa e aumentando o potencial para uma maior complexidade no sistema sociojurídico. Neste ponto, deve-se questionar se a adição de um componente normativo após o outro, em um ciclo aparentemente infinito, para combater comportamentos emergentes é um mecanismo desejável e sustentável para o sistema jurídico. Essa é um dos primeiros questionamentos prescritivos que provêm do realce das características de não linearidade de qualquer sistema jurídico.⁸⁴

Outra consequência é a percepção da impossibilidade de se selecionar os estados perniciosos e manter os bons no sistema sociojurídico, pois as sensibilidades às mudanças nas condições iniciais e a rede de interdependência de um CAS não permitem dizer se a retirada de um elemento terá exatamente a repercussão desejada. Ao contrário, o melhor que se pode fazer é ganhar alguma medida de controle, genericamente, sobre com que frequência e com qual intensidade esses comportamentos caóticos, de emergência indesejada e catastróficos, podem ocorrer, e procurar administrar seus efeitos⁸⁵.

O grande paradoxo dos sistemas complexos é que o equilíbrio, no sentido clássico de estagnação e linearidade, não é sustentável a longo prazo. Com atratores estranhos e caos

⁸³ RUHL, John B; RUHL JR, Harold J. The Arrow of the Law in modern Administrative States: using complexity theory to reveal the diminishing returns and increasing risks the burgeoning of Law poses to Society. **U.C. Davis Law Review**. n.405, p. 407-481, p. 410, 1997.

⁸⁴ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 885, 1996

⁸⁵ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 886, 1996

como ingredientes fundamentais para maximizar a sustentabilidade do sistema, a estabilidade estática e a previsibilidade são perdidas. Além disso, a combinação de atratores necessárias para levar o sistema à sustentabilidade produzirá, necessariamente, padrões emergentes. Assim, um sistema adaptável, robusto e dinamicamente sustentável é necessariamente imprevisível. Em um CAS, a fonte de imprevisibilidade se torna o fundamento da adaptabilidade, permitindo ao sistema transformar desordem em auto-organização⁸⁶.

Dessa forma, esses sistemas exibem elevada resiliência a perturbações e falhas, mantendo um alto nível de consistência de comportamento estrutural em face da dinâmica de um ambiente sempre mutável. Ou seja, as relações no interior do sistema permanecem o mais próximas possíveis da forma como eram na iteração anterior. No sistema sociojurídico, por sua vez, seria razoável esperar que as relações jurídicas que afetam seus elementos serão aproximadamente as mesmas pela manhã e no final do dia.⁸⁷

Pode-se ver, desde logo, que buscar o objetivo de sustentabilidade para o sistema sociojurídico requer uma aplicação prescritiva das analogias provenientes da dinâmica não-linear na confecção normativa, nem sempre intuitiva e ao mesmo tempo afastando-se de qualquer tentativa reducionista de análise. Ao se considerar no estudo da complexidade jurídica o sistema estudado como sendo o sociojurídico desde o início, evita-se a tentativa de buscar regular as qualidades dinâmicas do sistema dividindo-o em esferas separadas, e subdividindo-o indefinidamente, em busca de simplificações. As simplificações obtidas pelo método reducionista produzem leis que aparentemente permitem previsibilidade e ordem. Entretanto, como o processo foi uma aproximação grosseira do comportamento humano, a longo prazo, ocorrerão eventos inesperados quando o sistema se afastar das regras estabelecidas por esse método. E sendo o sistema sociojurídico um CAS, ele certamente irá.⁸⁸

⁸⁶ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p.891, 1996.

⁸⁷ RUHL, John B. General Design Principles for Resilience and Adaptive Capacity in Legal Systems: Applications to Climate Change Adaptation Law. **North Carolina Law Review**, No.464, p.1374-1400, p. 1375, 2011; RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 887-888, 1996.

⁸⁸ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 868, 1996; RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1411, mar. 1996.

Apreciada a contribuição do caos ao estudo do sistema sociojurídico, o próximo passo, seguindo o desenvolvimento da teoria de Ruhl, será o descrever o conceito de evolução para um sistema complexo adaptativo e para o sistema sociojurídico.

1.2.2 A dinâmica da evolução legal

A teoria da complexidade como entendida contemporaneamente, provém da união de várias áreas científicas, em especial da física, da biologia e das ciências sociais. A contribuição da física ocorre por meio dos métodos de modelagem matemática e computacional de dados empíricos e pelo rigor do formalismo matemático. Ela trouxe os elementos e ferramentas de quantificação e predição. As ciências sociais acrescentam o conceito fundamental de relações sociais, de redes sociais cuja funcionalidade não pode ser descrita com o foco no elemento individual dessas redes de relações. A biologia, no entanto, contribuiu especialmente com a teoria da evolução darwiniana. A contribuição da teoria da evolução será tão marcante para a teoria de sistemas complexos, que vai caracterizar elementos fundamentais de entendimento e aplicação da teoria da complexidade, impondo limites que o reducionismo científico não pode ultrapassar.⁸⁹

Em razão das características dos sistemas complexos, a busca analítica de resultados não pode ser usada. Os sistemas complexos não podem ser descritos por sistemas analíticos de equações, como utilizados pela física ou a economia, mas devem ser descritos algoritmicamente. Ou seja, é preciso descrever a dinâmica de um sistema complexo um passo, um instante ou uma iteração por vez, pois o estado imediatamente posterior do sistema, necessariamente será uma função do estado imediatamente anterior, o sistema evolui por meio da reiteração de processos em etapas discretas.⁹⁰

Por fim, a teoria da evolução é diferente de qualquer teoria física porque em sistemas evolucionários não é possível fixar condições de limitação para o sistema e o espaço de fases, onde a dinâmica do sistema ocorre, é sempre precariamente definido. Novos elementos

⁸⁹ THURNER, Stefan; HANEL, Rudolf; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: New York, 2018, p. 02.

⁹⁰ THURNER, Stefan; HANEL, Rudolf; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: New York, 2018, p. 13.

sempre podem surgir que irão modificar o ambiente e consequentemente a dinâmica de todos os elementos já existentes.⁹¹

Essas características fazem com que um sistema complexo mude em quantidade de elementos e em limites ao longo do tempo, sendo potencialmente diverso a cada iteração ou passo, ele co-evolui com suas limitações e seus elementos de forma a apresentar situações que são difíceis ou impossíveis de serem solucionadas analiticamente.⁹²

O processo evolutivo, dessa forma, pode ser representado como um algoritmo universal que pode ser aplicado a organismos, sociedades ou tecnologias, e a própria estrutura desse processo impede que sejam possíveis o uso extremo de técnicas de análise linear e o forte emprego de reduções.⁹³

Por essa lógica, uma descrição apropriada do processo evolutivo pode ser feita não como movimentos contínuos e suaves ao longo de uma subida gradual em uma montanha, mas algo semelhante a uma topografia acidentada de picos, vales e planícies, onde as diferenças topológicas refletem a capacidade de adaptação de organismos e espécies: uma paisagem de adaptação. Buscar descrever o sistema sociojurídico pela teoria da evolução sob as lentes da complexidade, é tratar de entender como seus elementos mudam e adaptam-se às pressões do seu meio ao longo do tempo nessa paisagem de adaptação.⁹⁴

Um conceito fundamental para a compreensão da evolução em sistemas complexos é o conceito de possibilidades adjacentes, criado por Kauffman. O conceito de possibilidades adjacentes é o conjunto de todas as possibilidades que potencialmente poderiam existir para o sistema na próxima unidade de tempo, ou iteração, considerando-se o estado atual do sistema. Esse conceito reduz o tamanho do espaço do possível para o conjunto de possibilidades que poderiam existir imediatamente após o estado presente do sistema, na próxima iteração ou unidade de tempo, e não em algum estado longínquo de evolução que certamente seria alterado pelas flutuações do sistema.⁹⁵

⁹¹ THURNER, Stefan; HANEL, Rudolf; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: New York, 2018, p. 15.

⁹² THURNER, Stefan; HANEL, Rudolf; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: New York, 2018, p. 16.

⁹³ THURNER, Stefan; HANEL, Rudolf; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: New York, 2018, p. 15.

⁹⁴ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1416, mar. 1996; KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 215-221.

⁹⁵ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 222.

Dessa forma ao se retomar a ideia do processo de evolução como uma paisagem com montanhas, vales e depressões, a topografia dessa paisagem de adaptação será construída, passo a passo, iteração a iteração, dentro do conjunto de possibilidades adjacentes, e não de forma linear e contínua como se poderia imaginar. Essa construção ocorre, especialmente, pela variação dos modelos internos e da estrutura de cada elemento e seu relacionamento com as limitações conflitantes impostas pelo seu meio, sua própria estrutura e por outros elementos a ele ligados. Assim, o que se poderia chamar de estado mais adaptado para um elemento não pode ser determinado independentemente dessas forças que definem suas possibilidades adjacentes, que podem ser descritas como os elementos topográficos próximos ou adjacentes a cada elemento. Esse processo de evolução será qualquer coisa que não um equilíbrio estático, homogêneo e contínuo como se costuma pensar.⁹⁶

Ao se continuar usando a ideia de paisagens para descrever a evolução, o deslocamento dos elementos através dessa paisagem ocorre necessariamente passo-a-passo, dentro das limitações impostas pelo conjunto de possibilidades adjacentes. Essa caminhada de adaptações será impulsionada pelas mudanças que a seleção natural cria através de mutação e recombinação e pela seleção dos elementos mutantes mais aptos. Essa marcha da evolução não prossegue indefinidamente, ela chega ao fim no topo de qualquer pico em que o elemento se encontre e não posso mais perseguir nenhum estado mais vantajoso ou apto. Isso não significa, entretanto, que se chegou ao máximo da evolução. Possivelmente existem outros picos mais altos, que representam oportunidades perdidas com maiores valores de adaptação. Desta forma, ao se chegar ao máximo de um pico local, a o único caminho possível, para buscar-se outro ponto mais alto, em uma caminhada, é seguindo montanha abaixo.⁹⁷

Outra estratégia possível para os elementos que se movem na paisagem de adaptação buscando melhores posições na topologia de adaptação é realizarem saltos de evolução. Embora o caminhar adaptativo, passo-a-passo, garanta a direção da caminhada, ele pode ser um processo lento. Enquanto saltos adaptativos podem propiciar grandes incrementos de adaptação, mas não possuem o direcionamento do caminhar e podem trazer maiores riscos. Além disso, a paisagem de adaptação não é estática. Quando uma espécie evolui através da paisagem de adaptação, ela necessariamente altera a paisagem de outras espécies que

⁹⁶ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 178; RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Pratical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1457-1458, mar. 1996.

⁹⁷RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Pratical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1453, mar. 1996.

compartilham o mesmo ecossistema e com as quais interage. Assim, deve-se pensar em várias paisagens de adaptação simultâneas, dos vários conjuntos ou espécies de elementos que compõe um sistema dinâmico fora do equilíbrio, que formam um ecossistema. Essas paisagens de adaptação no ecossistema são acopladas por meio de suas interações, requerendo que todas as espécies reconstruam seus modelos internos e estruturas continuamente. Uma espécie de perpétuo, simultâneo e complexo exercício em teoria dos jogos é realizado⁹⁸.

O paradigma descrito pelo modelo de paisagens de adaptação é ao mesmo tempo uma forma simples e poderosa de explicar a evolução dinâmica de qualquer sistema. Sendo o sistema sociojurídico uma relação de evolução dinâmica, essa é uma analogia que pode ser validamente explorada⁹⁹.

Uma considerável parte da pesquisa em paisagens adaptativas revolve em torno de estratégias de pesquisa dessa topografia adaptativa, buscando resolver o problema de como encontrar a melhor estratégia para se mover em busca da melhor vantagem adaptativa.¹⁰⁰

Cada elemento ou agente precisa avaliar os efeitos da mudança em uma das suas características baseadas nos efeitos totais em adaptabilidade levando em consideração todos as outras características. Assim, pode-se visualizar uma paisagem de vários níveis potenciais de adaptabilidade em um dado ambiente, com os picos, vales e planícies da paisagem representando o potencial de adaptação de diferentes combinações de modelos internos e estruturas. De fato, pode-se construir uma paisagem dessas para qualquer sistema de conexões interdependentes, ou acoplamentos, e a presença dessas limitações conflitantes fará a paisagem acoplada rugosa ou com múltiplos picos.¹⁰¹

Ao se unir todos os elementos descritivos da evolução em paisagens de adaptação chega-se à explicação para a existência de um equilíbrio gerado por meio do caos e complexidade. Os elementos do sistema, quanto caminham na paisagem, não têm controle sobre os acidentes e mutações do seu meio, nem têm controle sobre a recombinação internas (genéticas) realizada através da reprodução desses elementos. Esses eventos, entretanto, podem ser fonte de mudanças dramáticas, tanto para o conjunto de elementos quanto para o seu meio-

⁹⁸ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1463, mar. 1996; KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 217.

⁹⁹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1417, mar. 1996.

¹⁰⁰ RUHL, John B. Sustainable Development: A Five-Dimensional Algorithm for Environmental Law. **Stanford Environmental Law Journal**, Vol. 18, p. 31-63, p. 45, 1999.

¹⁰¹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1450, mar. 1996.

ambiente. Essas mudanças dramáticas são os saltos evolutivos, que podem causar mudanças de adaptação positivas ou não para o conjunto dos elementos envolvidos em um ecossistema. Essa dinâmica descreve um equilíbrio não contínuo e gradual, mas pontuado por momentos de caos e perturbações, que embora causem mudanças no sistema, não são suficientemente fortes para causarem seu colapso, na maioria das vezes.¹⁰²

O estudo de um sistema por meio de sua paisagem de adaptação possui a vantagem do auxílio descritivo da sua topografia, ou seja, na localização espacial dentro de uma determinada linha do tempo e de uma superfície de acidentes adaptativos onde os elementos que constituem uma espécie se encontram. Ao fazer isso, e conhecendo-se a dinâmica da evolução por iterações de sistemas complexos, é possível reter a atenção sobre as escolhas realizadas pelos agentes que o fazem seguir em uma dada direção, depois de explorar as possibilidades adjacentes ou longínquas da paisagem. Porém, essa decisão sempre estará ligada ao momento e local onde foi tomada, ao nicho do agente. Uma espécie, na teoria darwiniana, é considerada como adaptada dependendo de onde esta espécie está, quais outras espécies encontram-se com ela e quando ela chegou naquele local, relativamente as outras espécies, a métrica adaptativa nunca pode ser tomada isoladamente.¹⁰³

A principal diferença entre a evolução de sistemas biológicos e do sistema sociojurídico, repousa na liberdade humana. Os atores dos sistemas sociais têm o poder de fazer saltos longos ou curtos através da paisagem de adaptação pela ação da vontade, enquanto o processo de evolução natural é cego a qualquer vontade. A sociedade humana organizada possui uma grande amplitude de possibilidades, desde de criar simples regras para organizações tribais até causar catástrofes com revoluções sociais que podem mudar completamente o comportamento do sistema social.¹⁰⁴

Se esse modelo de evolução em paisagens adaptativas for aplicado ao sistema sociojurídico, as leis passam a ter histórias de vida, o que significa que atenção deve ser dada a como elas tem propensão a mudar em relação ao tempo. A história das alterações legislativas tem tanto a dizer sobre a evolução do sistema sociojurídico como a história das teorias jurídicas, exatamente porque esses elementos do sistema sociojurídico evoluem conjuntamente, em um mesmo amplo ecossistema. Por outro lado, leis buscam influenciar o comportamento humano,

¹⁰² RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1459, mar. 1996

¹⁰³ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p. 1408-1489, p. 1433, mar. 1996.

¹⁰⁴ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1433, mar. 1996.

o que significa que os legisladores invariavelmente devem teorizar sobre que decisões que as pessoas irão tomar e como irão se comportar em face das leis criadas. Dessa forma, as leis almejam alterar os modelos internos dos agentes humanos, estabelecendo objetivos de indução ou desencorajamento de determinados modelos internos. Compreender a evolução biológica requer uma compreensão do processo pelo qual cada espécie responde em relação a toda a comunidade e como a comunidade como um todo evolui como resultado de todas as espécies responderem cada uma em relação a outra. O mesmo processo ocorre com o ecossistema sociojurídico: é preciso compreender como cada norma jurídica reage ao conjunto do sistema jurídico como um todo e como o sistema jurídico evolui como um resultado de todas ou algumas normas legais evoluírem.¹⁰⁵

Entender a evolução legal significa entender os fatores correspondentes ao modelo interno e a estrutura dos elementos que constituem o sistema sociojurídico. Além disso, a estrutura de um conjunto de elementos ou mesmo de cada elemento não é totalmente discricionária e os benefícios de mudanças em uma característica podem ser limitados por outras características¹⁰⁶.

As limitações conflitantes são bem conhecidas no Direito, mas com outra denominação: trocas (*tradeoffs*). As leis e regulações que têm como objetivo (modelo interno) aumentar a transparência estatal, podem encontrar limitações nas várias diferentes estruturas de como os dados são coletados e armazenados pelos vários entes públicos e podem levar, por exemplo, a quebras de segurança sobre dados sensíveis se não existirem processos e mecanismos adequados. Ainda, pode ser o objetivo de uma lei diminuir o nível de regulação em um determinado setor (modelo interno), mas isso não pode ser feito sem o aumento de regulação em outros setores (limitações conflitantes). Nesse cenário, à medida que as políticas públicas e as leis que as implementam aumentam, crescem em número e diversidade os objetos elegidos para regulação pelo Direito e torna-se cada vez mais difícil reforçar a eficiência de qualquer lei ou política pública individual sem gerar consequências, positivas ou negativas, à efetividade de outras leis e políticas públicas.¹⁰⁷

¹⁰⁵ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1436-1437, mar. 1996.

¹⁰⁶ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 170.

¹⁰⁷ RUHL, John B.; SALZMAN, James E. Mozart and the Red Queen: The Problem of Regulatory Accretion in the Administrative State. **Georgetown Law Journal**, n.59, v. 91, p. 757-849, p. 807, 2003.

O Direito, comumente, escolhe maximizar uma característica legal em detrimento de várias outras. A proteção de espécies ameaçadas é um exemplo de escolha de elementos legais tão enfatizado que tornou difícil prover políticas públicas e regulações adequadas para vários outros elementos do sistema, como os direitos à propriedade privada.¹⁰⁸

O problema das limitações conflitantes poderia ser minimizado se fosse possível a escolha de modelos internos e estruturas perfeitas para cada dado instante. Porém, os elementos que percorrem a paisagem de adaptação não têm uma visão completa e não podem escolher à vontade sua estrutura e modelos internos. Entretanto, pode-se objetar que os seres humanos podem escolher livremente quando criam leis. Existem diversas possibilidades de se estruturar as normas jurídicas e pode-se estabelecer declarações de objetivos para elas, expressando o modelo interno ideal para comportamento social que se deseja induzir ou desencorajar com a efetividade de determinada lei. Dessa forma, a adaptabilidade das leis, assim como das espécies, seria medida em termos de como a lei é bem-sucedida em atingir seus objetivos. Os objetivos das leis podem ser tomados como aqueles expressos na sua motivação ou exposição de motivos, que levaram à sua criação legislativa, ou aqueles que levaram à sua posterior modificação interpretativa. A esse objetivo legal que deve induzir determinado modelo interno chamar-se-á sua política legal. Uma lei é apta se ela cumpre sua política legal.¹⁰⁹

Avaliar a adaptabilidade dessa forma não permite avaliações valorativas para as leis mais do que é possível para espécies biológicas. Biólogos não perguntam se determinada espécie é boa para seu ecossistema quando avaliam a adaptação de uma única espécie. Similarmente, valorações não têm lugar na avaliação da adaptabilidade de uma determinada lei, do ponto de vista de uma teoria da complexidade jurídica, ainda que a política legal subjacente à lei seja valorativamente estruturada.¹¹⁰

Porém, mesmo sendo possível escolher estruturas legais e seus modelos internos, não se pode garantir a aptidão de uma dada lei indefinidamente. As escolhas de estruturas jurídicas e modelos internos é limitada significativamente, frequentemente de forma não previsível, por limitações conflitantes colocadas por outras realidades sociais. As diferentes combinações de possíveis modelos internos e estruturas legais produzem diferentes níveis de

¹⁰⁸ RUHL, John B. The Co-Evolution of Sustainable Development and Environmental Justice: Cooperation, then Competition, then Conflict. **Duke University Law & Policy Forum**, Vol. 9, p.161-185, p. 168, 1999.

¹⁰⁹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1451, mar. 1996.

¹¹⁰ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1451-1452, mar. 1996.

adaptabilidade. Porém, não é possível se ter uma visão completa dessa paisagem de adaptação do Direito, pois não é possível alimentar um modelo computacional com todas as diferentes formas possíveis de estruturas jurídicas e de modelos internos que podem ser incentivados ou desencorajados e testar seus níveis de adaptabilidade relativa, numa dinâmica co-evolutiva, com qualquer grau de certeza preditiva. Desta forma, o Direito encontra-se no mesmo lugar das espécies biológicas, precisando mover-se em uma paisagem de adaptação, sem possibilidade enxergar todas as possibilidades possíveis, em busca dos seus picos e tentando evitar seus vales.¹¹¹

Esse processo dinâmico de co-evolução dos elementos numa paisagem adaptativa é dirigido pelos processos básicos de competição e cooperação, como formas de alterações nas próprias espécies, especialmente nos seus modelos internos. Esses processos devem ser esperados em todos os sistemas dinâmicos evolutivos.¹¹²

Como não há nada de estático em uma paisagem de adaptação, a espécie mais adaptada em um ecossistema particular não permanece assim indefinidamente e precisa saltar para fora do seu nicho para sobreviver em seu meio-ambiente constantemente em mudança. Da mesma forma, por vezes será necessária a incursão em modelos internos e estruturas legais completamente distantes das comumente usadas, através de processos de competição e cooperação com interpretações e teorias jurídicas, requerendo um salto adaptativo legal.¹¹³

Deve-se ter cuidado para não retornar a possíveis interpretações reducionistas quando se busca aplicar os modelos do caos e das paisagens de evolução adaptativa à formação de princípios prescritivos ao Direito¹¹⁴.

Pode-se perceber esse padrão nas tentativas de reformas legais e nas inovações legislativas que buscam contornar crises sociais ou eventos sociais imprevisíveis, comportamentos que tipicamente poderiam ser classificados como caóticos ou emergentes. A reação, nesses casos, comumente ocorre pela adoção de uma arquitetura cada vez mais complicada de regras e organização do sistema jurídico, com pesadas e excessivas doses de

¹¹¹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1452, mar. 1996.

¹¹² GELL-MANN, Murray. **The quark and the jaguar**: adventures in the simple and complex. New York: W. H. Freeman and Company, 1994, p. 242.

¹¹³ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1465, mar. 1996.

¹¹⁴ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 897, 1996

regulação altamente detalhadas e uma intrínseca dependência em estruturas administrativas constituídas de cima para baixo.¹¹⁵

Entretanto, a estabilidade, no sistema sociojurídico, como um CAS, não é necessariamente atingida pela promoção de regras e normas rígidas. Em muitos casos, a introdução incremental de pequenas mudanças normativas pode levar o sistema a uma estabilidade global preferível. A adaptabilidade não necessariamente significa responder direta e imediatamente aos fenômenos emergentes indesejados com contramedidas precisas e completamente eficientes. A emergência é um fenômeno que ocorre em níveis, geralmente manifestando-se em níveis superiores do sistema, enquanto as interações que lhe deram origem encontram-se em níveis inferiores. Mudanças nas interações dos níveis inferiores devem combater melhor um comportamento emergente indesejado que o ataque direto ao padrão emergente no seu nível de manifestação. Desta forma, sistemas que repousam sobre dinâmicas sistêmicas flexíveis e adaptativas em níveis inferiores têm maiores chances de sobrevivência em níveis elevados de complexidade¹¹⁶.

Por exemplo, quando busca-se controlar a poluição das águas, frequentemente gera-se mais poluição em outros setores como solo e ar; quando procura-se limpar propriedades contaminadas incorre-se em discussões sobre o direito à propriedade e quando se tenta barrar o desenvolvimento urbano em ecossistemas ameaçados, não raro, acaba-se promovendo o efeito oposto. Esses efeitos colaterais são produzidos pela cultura jurídica de buscar previsibilidade com o uso de ferramentas reducionistas de regulação, baseadas na premissa que é possível isolar um problema ambiental, por exemplo, a poluição de mananciais, e fazê-lo desaparecer impondo leis e regulações coercitivas que eventualmente funcionariam se todo o resto do sistema permanecesse inalterado, o que jamais ocorre.¹¹⁷

De forma semelhante, quando se observa uma paisagem de adaptação, é inviável ignorar a rede de interconexões que compõe os acoplamentos e a co-evolução dos elementos nela representados. Quando se ignora essa construção da complexidade, gera-se cegueira para

¹¹⁵ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 860, 1996.

¹¹⁶ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p.888, 1996

¹¹⁷ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1446, mar. 1996; RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 916, 1996.

o fato que quando se tomam decisões individuais, essas decisões deformam os níveis de adaptabilidade de outras decisões individuais. Muitas vezes os operadores jurídicos tratam decisões sobre o sistema sociojurídico como se cada uma fosse feita isoladamente, em vez de considerar que cada uma é parte de um sistema de decisões. Se as decisões jurídicas sempre forem consideradas isoladamente, apenas aumenta-se as chances de disfunções em todo o sistema, levando-o ao caos, a padrões de emergência indesejados e a catástrofes.¹¹⁸

A grande contribuição de se descrever um modelo baseado em sistemas dinâmicos não-lineares encontra-se na sua habilidade de auxiliar a identificar onde e quando pode-se ter a necessidade de buscar ajustar a trajetória do sistema sociojurídico, enquanto a sua contribuição analítica estaria na sua habilidade de mostrar como fazer isso, por meio da aproximação de estruturas legais a atratores e suas dinâmicas.¹¹⁹

Por outro lado, a descrição da dinâmica evolutiva legal por meio de paisagens de adaptação combina os elementos do modelo anterior e os transforma em estruturas complexas dinâmicas de computação de informações e tomada de decisões diante de problemas originados dentro do sistema e advindos do seu meio externo. O valor dos modelos descritivos e prescritivos aqui fornecidos, segundo a teoria construída por Ruhl, é a alteração da perspectiva pela qual se enxerga o sistema jurídico e a formação de novos questionamentos sobre melhores formas de estruturá-lo e compreender sua dinâmica.¹²⁰

O presente capítulo descreu o conceito de complexidade e sistemas complexos adaptativos e os aplicou ao sistema jurídico, propondo a hipótese de que o sistema jurídico é um sistema complexo adaptativo utilizado para regular outros sistemas complexos adaptativos, como o sistema social e o sistema econômico. Devido as características de evolução conjunta

¹¹⁸ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. *Vanderbilt Law Review*, Vol. 49, p.1408-1489, p. 1475, mar. 1996. É interessante notar, que a Lei 13.655 de 2018 que alterou a Lei de introdução as normas do Direito brasileiro, especialmente as alterações nos artigos 20, 21 e 22, trazem previsões que se aproximam de uma legislação atenta ao deslinde dinâmico e não linear da realidade social subjacente aos eventos jurídicos. É de especial interesse a redação do artigo 20 que afirma que “nas esferas administrativa, controladora e judicial, não se decidirá com base em valores jurídicos abstratos sem que sejam consideradas as consequências práticas da decisão.” Olhando-se exclusivamente para o dispositivo legal, a atenção na análise das consequências reais da decisão jurídica seria um primeiro passo em uma formulação legal mais atenta as mudanças e imprevisibilidades de um sistema sociojurídico complexo. O teor da alteração em comento, que sugere uma forte influência da Análise Econômica do Direito, mostra como essa teoria não encontra um limite rígido na teoria da complexidade, como quer Ruhl, mas se complementam e convergem em muitos aspectos.

¹¹⁹ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. *Duke Law Journal*, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 886, 1996.

¹²⁰ RUHL, John B; RUHL JR, Harold J. The Arrow of the Law in modern Administrative States: using complexity theory to reveal the diminishing returns and increasing risks the burgeoning of Law poses to Society. *U.C. Davis Law Review*. n.405, p. 407-481, p. 411, 1997; RUHL, John B.; KATZ, Daniel M. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. *Iowa Law Review*, n.15-1, v.101, p.191-243, p. 207, fev. 2015.

desses sistemas complexos adaptativos denominou-se sistema sociojurídico ao nosso objeto de estudo, e não apenas sistema jurídico ou sistema direito e sociedade, buscando sublinhar o caráter interdependente desses sistemas. A teoria dinâmica do sistema sociojurídico, ou a teoria de sua evolução, foi esboçada, usando-se elementos da teoria darwiniana de evolução como utilizada nas ciências da complexidade. O próximo capítulo tratará de buscar a descrição jurídica do sistema tributário e cotejá-la com as descrições apresentadas neste capítulo de sistemas complexos adaptativos com vistas a uma descrição mais formal do sistema tributário brasileiro como um sistema complexo adaptativo.

2. O SISTEMA TRIBUTÁRIO COMO UM SISTEMA COMPLEXO

O presente capítulo descrever o sistema tributário brasileiro como um sistema jurídico e posteriormente, por meio da comparação com possíveis formas de definição de sistemas complexos, descreve a possibilidade de descrever o sistema tributário nacional por meio de uma representação em redes, considerando uma parcela do sistema tributário nacional empiricamente pesquisada, e algumas das implicações da possibilidade dessa representação.

2.1 O SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO

Descritas as características de um sistema complexo adaptativo, no capítulo 1, deve-se buscar as características de um sistema jurídico. A busca por padrões reconhecíveis externos e internos não ficou apartada do Direito, que buscou encontrar padrões harmônicos que pudessem integrar a diversidade de elementos que constituem a realidade jurídica. Assim, buscam-se classificações normativas, separam-se subsistemas jurídicos de acordo com sua área de regulação, cria-se uma diversidade de gêneros e espécies jurídicas na tentativa de encontrar padrões de organização na teia normativa. Os sistemas, não necessariamente precisam de prévio planejamento ou pré-ordenação dos seus elementos para serem identificados. Mesmo quando determinado conjunto de elementos prescinde deste planejamento e estruturação por uma autoridade centralizada, ainda assim, pode ser descrito como um sistema se apresenta todas as características a ele inerentes. Em outras palavras, sistemas não precisam ser exclusivamente construídos pelo engenho humano, eles podem ser identificados na realidade externa que não foi humanamente pré-arranjada. Uma definição básica de sistema, como a qual se pode iniciar, seria descrevê-los como um conjunto de elementos diversos agregados por vetores unificadores.¹²¹

Seguindo para uma classificação mais detalhada, seria possível dividir os sistemas em reais ou empíricos, ou sistemas ideais ou proposicionais. Os sistemas proposicionais podem ser divididos em sistemas nomológicos, formados por proposições analíticas desenvolvidas por

¹²¹ ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. RT: São Paulo, 1968, p. 04-05; CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 94.

meio de um processo dedutivo originado no interior do sistema e não dependente de dados da experiência empírica externa e sistemas nomoempíricos, formados por proposições com fundamentos empíricos externos. Ainda, os sistemas nomoempíricos podem ser divididos em sistemas descritivos ou teóricos, formados por proposições descritivas dos dados da realidade, buscando a verdade destas proposições e sistemas nomoempíricos prescritivos ou normativos, formado por proposições prescritivas para a conduta humana, buscando a validade dessas proposições. Os sistemas nomoempíricos teóricos são encontrados nos enunciados científicos, enquanto que os sistemas nomoempíricos prescritivos são exemplificados pelos sistemas jurídico, moral e religioso.¹²²

Dessa forma, o direito positivo apresenta-se como um sistema nomoempírico prescritivo. Já a ciência do direito, como um sistema nomoempírico teórico ou declarativo, pois o Direito, como objeto cultural, é representado no mundo por meio de uma linguagem prescritiva criada pelo ser humano para disciplinar a conduta social¹²³.

Por fim, os sistemas podem ser divididos entre aqueles que serão compostos pela simples soma de seus elementos, em um modelo mecanicista, enquanto outros, buscando fundamento nos sistemas biológicos, serão um todo, que é sempre maior que a simples soma das suas partes. O sistema jurídico parece não ser apenas formado pela soma de suas partes componentes, como no modelo mecanicista, mas pela relação coordenada e harmônica do funcionamento de cada elemento em relação ao todo¹²⁴.

Dos sistemas descritos no parágrafo anterior, a coerência e a ordenação parecem características essenciais. A ordenação se concretizaria por meio de estruturas hierárquicas construídas pelas relações entre os elementos do sistema, e a coerência se caracterizaria pela ausência de antinomias entre eles. Entretanto, essa definição deve ser tomada com cautela quando utilizada para o sistema jurídico. Pois, se adequada para a caracterização da ciência do Direito, como sistema ordenado e livre de antinomias, não deve ser indistintamente utilizada para caracterizar o sistema jurídico positivo que ela estuda, sendo possível entender a coerência de um sistema como um produto da lógica das relações entre seus elementos.¹²⁵

A lógica da ciência do Direito, comportando o binário verdadeiro e falso para suas proposições, não poderia suportar antinomias sob pena de inconsistência. Isso não ocorre,

¹²² CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 96; VIEIRA. José Roberto. A Noção de Sistema no Direito. **Revista da Faculdade de Direito da UFPR**, v. 33, p. 62, 2000.

¹²³ CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 98.

¹²⁴ FERRAZ JUNIOR, Tércio S. **Introdução ao estudo do Direito: técnica, decisão, dominação**. São Paulo: Atlas, 2003, p. 265; ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 05.

¹²⁵ VIEIRA. José R. A Noção de Sistema no Direito. **Revista da Faculdade de Direito da UFPR**, v. 33, p. 55 e 58, 2000.

entretanto, com a lógica do sistema jurídico positivo, que se expressa no binário validade e invalidade para seus elementos normativos. Assim, dentro da lógica de validade do sistema jurídico é possível abrigar normas conflitantes, sem tornar inconsistente seus processos. Dessa forma, a lógica das relações entre os seus elementos permite ao conjunto de normas jurídicas abrigar limitações conflitantes sem perder as características de unidade que lhe permitem ser classificado como um sistema.¹²⁶

Os elementos básicos do sistema jurídico são as normas, que não se confundem com os dispositivos legais. Inexiste simetria entre eles. Poderá haver norma sem dispositivo, dispositivo sem norma, ou dispositivo que dê origem a mais de uma norma ou norma criada a partir da conjugação de vários dispositivos. A norma é uma construção realizada por meio da interpretação sistêmica dos textos legais pelos agentes humanos e, portanto, é apenas parcialmente criada pelo dispositivo legal, tendo outra parcela construída pela subjetividade dos modelos internos de seus intérpretes. Ainda, dentre as normas, pode-se distinguir entre princípios e regras. Os princípios são normas finalísticas, que direcionam comportamentos para a realização de um estado ideal. Os princípios, como serão apresentados na continuidade deste trabalho, serão os vetores de unidade do sistema jurídico. As regras são normas que descrevem um comportamento ou atribuem uma competência. A conjugação de regras e princípios permitem uma estrutura dinâmica que possibilita a auto-regulação, criação e transformação normativa.¹²⁷

Desta forma, a ciência do Direito estuda o sistema nomoempírico do Direito, tendo como uma das suas mais tradicionais descrições a ordenação em pirâmide, que possui no seu ápice uma norma fundamental imaginária: a norma hipotética fundamental de Kelsen. E essa valida as normas constitucionais, nas quais todas as normas do sistema jurídico buscam fundamento, até seu elemento normativo mais básico. Observa-se a partir das espécies de normas e sua organização hierárquica a possibilidade de uma descrição estática em relação aos detalhes de estrutura e interligações do sistema e outra dinâmica observando-se as mudanças, criação e exclusão de normas.¹²⁸

¹²⁶ VIEIRA, José R. A Noção de Sistema no Direito. **Revista da Faculdade de Direito da UFPR**, v. 33, p. 61, 2000.

¹²⁷ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 36-37; AVILA, Humberto. **Teoria dos Princípios: da definição à aplicação dos princípios jurídicos**. São Paulo: Malheiros, 2011. p. 30-35 e 71.

¹²⁸ CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 99-100; KELSEN, Hans. **Introduction to the problems of Legal Theory: a translation of the first edition of the *Reine Rechtslehre* or *Pure Theory of Law***. Trad. Bonnie Litschewski Paulson e Stanley Paulson. Oxford: Clarendon Press, 1992, p. 59.

Sintetizando os elementos conceituados para a caracterização de um sistema jurídico, pode-se dizer que o conjunto de normas constitucionais, criadas a partir de dispositivos legais escritos com a finalidade de promover os objetivos sociais eleitos como relevantes por determinada sociedade, ordenadas em torno de princípios harmônicos, forma um sistema constitucional. Da mesma maneira, pode-se denominar sistema tributário o conjunto das normas tributárias agregadas por princípios unificadores e harmônicos que extrai do sistema constitucional seu fundamento e validade obedecendo a hierarquia normativa. Ampliando essa descrição, pode-se chamar de ordenamento ou sistema jurídico nacional o conjunto de todos os diversos sistemas jurídicos específicos ligados a um determinado sistema constitucional, logicamente estruturado pelas relações entre seus elementos e unificado pelos seus princípios.¹²⁹

2.1.1 Princípios estruturais do sistema jurídico-tributário brasileiro

Os sistemas jurídicos, como apresentados na seção anterior, são um conjunto de elementos normativos estruturados entre si e unificados por princípios. Essa não é uma descrição oposta àquela de uma rede de interconexões que caracteriza um sistema complexo adaptativo. Entretanto, deve ser explorada a descrição da dinâmica das relações entre as normas do sistema jurídico.

Delimitar os contornos do sistema tributário nacional e identificar os seus principais elementos constitutivos é a primeira etapa para explorar suas relações. Entretanto, deve-se cuidar para não se perder de vista os elementos unificadores do sistema na busca pela identificação de suas partes componentes. Esse desvio seria possível caso se dedicasse à descrição do extenso e minucioso tratamento constitucional do sistema tributário com excessiva atenção. De fato, desse tratamento constitucional exaustivo, formulado em uma constituição rígida, pode-se inferir uma primeira característica ao sistema tributário brasileiro: sua acentuada rigidez. Essa rigidez pode ser traçada a partir da intensa discriminação das regras de competência tributária e distribuição de receita e o fato dessas regras serem constitucionalmente

¹²⁹ ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 05-06; CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 35-37 e 455.

previstas, impossibilitando a flexibilidade de proceder a sua alteração por meio de lei ordinária.¹³⁰

Em razão da estrutura de limitações impostas à criação, em abstrato, de tributos pelas normas constitucionais, as regras de competência tributária adquirem importância ao ponto de ser mais adequado dizer que os entes políticos, ao instituírem tributos, não o fazem como expressão do seu poder de tributar, mas como exercício da competência tributária que não pode ser renunciada, alienada ou modificada substancialmente, admitindo apenas sua inatividade ou uso parcial.¹³¹

Não apenas a rigidez, número e detalhamento das normas tributárias constitucionais devem ser observadas, mas também a estrutura da sua positivação e como a liberdade do legislador ordinário foi desenhada. Dessa forma, o volume de normas constitucionais tributárias não é a única métrica relevante. Deve-se observar as características do sistema como um todo e como ele pode ser mais ou menos flexível.¹³²

Entretanto, em vez de examinar-se as minúcias das normas constitucionais de competência e distribuição de receita, optou-se por buscar na descrição dos princípios constitucionais tributários uma primeira observação da construção da rede de relações normativas do sistema tributário. As normas jurídicas são carregadas de valor em intensidade variável. Alguns preceitos jurídicos são tão fortemente carregados de valor que acabam influenciando porções significativas do ordenamento jurídico, servindo de vetores de compreensão e direção para o sistema tributário. A essas normas, carregadas de valor, de grande poder direcional, pode-se dar o nome de princípios.¹³³

Dessa forma, se os princípios se encontram enunciados implícita ou explicitamente no texto constitucional, é secundário em relação a sua existência. Ao se considerar os princípios jurídicos, deve-se considerá-los em suas conexões com outros princípios e normas do sistema jurídico, sendo inconcebível um princípio jurídico isolado.¹³⁴

Sendo os princípios constitucionais tributários os direcionadores da estrutura do sistema, inicia-se por uma descrição dos mesmos, enfatizando-se como estão conectados, mais

¹³⁰ ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. RT: São Paulo, 1968, p. 06-07 e 37; ÁVILA, Humberto. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 71 e 164. ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 06-07; ÁVILA, Humberto. **Sistema constitucional tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 71.

¹³¹ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 532-535.

¹³² ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 12-13.

¹³³ CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 104.

¹³⁴ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 45-47; ÁVILA, Humberto. **Sistema constitucional tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 92-93.

do que detalhando seu conteúdo. Inexiste consenso na literatura tributária sobre o exato número de princípios tributários, exemplificando a amplitude interpretativa na construção de uma norma jurídica. Pode-se iniciar, descrevendo alguns princípios constitucionais que, pela sua importância, sobrepõem-se mesmo sobre outros princípios como meta-princípios, pois visam a realização de um estado ideal que abrange a realização de vários princípios mais restritos. Um princípio fundamental é o princípio da justiça, que busca a realização do ideal de um lugar comum de conciliação e integração para os demais princípios e normas.¹³⁵

Outro meta-princípio é o princípio do Estado de Direito. A Constituição estabelece como princípio fundamental o Estado Democrático de Direito (art. 1º, CF/88) no qual deve ocorrer a separação harmônica dos poderes do Estado (art. 2º, CF/88). Ou seja, ao Poder Executivo cabe apenas editar regulamentos executivos (art. 84, IV, CF/88), ao Poder Judiciário a aplicação das leis (art. 5º, XXXV, art. 92 e ss, CF/88) e apenas ao Poder Legislativo a instituição de tributos, por meio de lei, sem a qual o contribuinte não estará obrigado, por força da legalidade.

Deve-se observar que a legalidade pode ser vista como um princípio, ao estabelecer um ideal de previsibilidade ou como uma regra quando prescreve um comportamento específico como aquele que proíbe aos entes políticos a criação ou aumento de tributo sem lei que o estabeleça. Pode-se ainda dizer que a legalidade apresenta dupla perspectiva: formal e material. Em sua perspectiva formal exige que qualquer comando jurídico busque um fundamento normativo expresso na lei, por meio do qual seja possível a determinação da conduta exigida. Em seu aspecto material, determina que todo comando normativo tenha seu conteúdo delineado legalmente. Desse segundo aspecto da legalidade emana o princípio da tipicidade ou determinabilidade fática que descreve a interação lógico-semântica da hipótese de incidência e da base de cálculo para a definição de tributos, que deve estar detalhadamente descrita em lei, não deixando espaço a discricionariedade do Fisco. Ainda, vinculada à legalidade segue-se a regra da anterioridade (art. 150, III, b, CF/88), protegendo o contribuinte da imprevisibilidade de alterações na tributação.¹³⁶

Conectado a legalidade, ainda se encontra a regra da irretroatividade da lei tributária, prevista no artigo 150, III “a” da Constituição Federal. A legalidade na sua dimensão de princípio e o princípio da determinabilidade fática ou tipicidade encontram-se diretamente

¹³⁵ CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 107; ÁVILA, Humberto. **Sistema constitucional tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 94.

¹³⁶ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 265 e 459; ÁVILA, Humberto. **Sistema constitucional tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 130, 178 e 376.

ligados ao princípio da segurança jurídica. O princípio da segurança jurídica não apenas busca a construção de previsibilidade e proteção das expectativas constituídas com base nas regras legais vigentes, como busca um ideal de estabilidade e confiabilidade. Esse efeito de previsibilidade se produz de forma bidirecional: para o passado, garantindo a estabilidade das relações jurídicas já consumadas e, para o futuro, permitindo o planejamento de ações, considerando os efeitos das normas estabelecidas no momento presente, em seus desdobramentos no tempo. Importa notar, entretanto, que essa previsibilidade não é absoluta, pois o significado da norma jurídica depende de inúmeras variáveis internas normativas e externas ambientais, provenientes do contexto social onde a norma atua, pois, a aplicação de qualquer norma jurídica é a composição de um juízo sobre a realidade.¹³⁷

O princípio da igualdade tem formulação expressa no artigo 5º, *caput*, da Constituição, em sua forma geral, e assume formulação específica para o sistema tributário, nos dispositivos dos art. 145, §1º e 150, II, buscando um ideal de igualdade, impessoalidade, objetividade, pluralidade e equidade, revestindo-se de elevada importância na determinação de atividades estatais que exijam critérios de diferenciação, quando justificáveis. Ao princípio da igualdade encontra-se relacionado estruturalmente (art. 145, §1º, CF/88) o princípio da capacidade contributiva como critério de uma justa tributação.¹³⁸

A propriedade privada encontra no artigo 5º, XXII, XXII e XXIV da Constituição, a expressão do seu princípio, assegurado o direito de propriedade, os possíveis casos de desapropriação e o atendimento da sua função social. A tributação afeta diretamente o direito à propriedade, pois subtrai recursos do contribuinte, transferindo esses recursos para o Estado, limitando sua fruição. Esses dispositivos constitucionais devem impedir que o núcleo do direito à propriedade seja atingido, evitando que o exercício do poder de tributar desnature esse direito, deixando-o irreconhecível como um direito fundamental. No mesmo sentido, o princípio da liberdade de atividade econômica que encontra expressão no artigo 5º, XIII e 170 da Constituição, que permite o livre exercício profissional e a livre iniciativa, impõe outro limite

¹³⁷ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 459; CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 108; ÁVILA, Humberto. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 370 e 373-374.

¹³⁸ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 99; CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 109; ÁVILA, Humberto. **Sistema constitucional tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 89, 409-411 e 435-437.

ao poder de tributar em face da liberdade de exercer atividade econômica, refletindo, ainda, nos efeitos extrafiscais da tributação, no seu papel de indução e desencorajamento de condutas.¹³⁹

As normas constitucionais que delineiam o sistema tributário nacional em seus detalhes encontram-se nos arts. 145 a 162 da CF, sendo relevantes as restrições impostas pelas chamadas limitações ao poder de tributar (arts. 150 a 152, CF) e sua relação com direitos e garantias do contribuinte. A estrutura de normas e princípios constitucionais descreve uma estrutura rígida de proteção à esfera privada, deixando um espaço de criação bastante limitado ao legislador ordinário de forma tão acentuada que se pode considerá-la um princípio do sistema. Entretanto, ainda se apresenta a possibilidade para inclusão de outras normas (art. 5, § 2º, CF), em adição ao texto constitucional, ao se tratar da proteção de direitos e garantias fundamentais, apresentando um aspecto flexível quando se trata de aumentar as restrições a possibilidade de tributação.¹⁴⁰

Sendo o texto constitucional que define os modelos das espécies tributárias, constituindo regimes jurídicos distintos para elas, é impossível ao legislador ordinário inovar aumentando a variedade de tributos previamente descrita. Ainda que os entes políticos tenham competência tributária para instituírem leis que criem tributos, a rigidez do sistema tributário constitucionalmente planejado mantém esse poder criativo confinado nos limites das espécies tributárias constitucionalmente previstas. As espécies tributárias encontradas no texto constitucional são os impostos (art. 146, III, “a”, CF), as taxas (art. 145, II, CF), as contribuições de melhoria (art. 145, III, CF), os empréstimos compulsórios (art. 148, I e II, CF) e as contribuições (arts. 149 e 149-A, CF). O Código Tributário Nacional (Lei n. 5.172/66), embora anterior à Constituição Federal, foi recepcionado, de um modo geral, com hierarquia normativa de Lei Complementar e contém disposições adicionais sobre as espécies tributárias e normas gerais para o sistema tributário brasileiro.¹⁴¹

Desse modo, partindo-se de vetores principiológicos e normas constitucionais tributárias, é possível descrever um sistema normativo orgânico que, por meio das suas relações, mantém-se coeso e estrutura-se para os níveis mais básicos do sistema jurídico até formar a complexa rede de relações normativas da tributação que permeia o dia a dia do contribuinte.

¹³⁹ CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 112-113; ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 09-10; ÁVILA, Humberto. **Sistema constitucional tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 396-397.

¹⁴⁰ ÁVILA, Humberto. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 162-163; ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 22.

¹⁴¹ CARRAZZA, Roque A. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011, p. 532 e 559; CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 22-34 e 45; ÁVILA, Humberto. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 164.

2.2 O SISTEMA TRIBUTÁRIO COMO SISTEMA COMPLEXO ADAPTATIVO

Uma vez obtida uma descrição de sistema jurídico em geral, e do sistema tributário em particular, nas seções precedentes, é o momento de recuperar a descrição de sistemas complexos adaptativos realizada no primeiro capítulo e observar possíveis congruências. A pesquisa em sistemas complexos tem como uma das suas fundamentais características a busca por relações, assim, descreve-se o estudo da complexidade como o estudo das relações ou como os elementos interagem em redes de relações. Uma definição possível de sistema jurídico tributário, como observado na seção anterior, é de um conjunto de normas estruturadas pelas suas relações e unificadas por princípios que direcionam o sistema. No centro dessa definição encontram-se as relações normativas que estruturam o sistema. Desta forma, seria possível descrever, utilizando a linguagem e as ferramentas da ciência da complexidade, o sistema tributário através dessa rede de relações normativas. Ainda, sendo o Direito um fenômeno sociocultural, inseparável do substrato social que lhe deu forma, a descrição da sua necessária interação com a sociedade resultaria, como proposto por Ruhl, em uma descrição coevolutiva de um sistema sociojurídico, e não apenas da sociedade e do Direito como realidades independentes.¹⁴²

Por fim, ao se buscar uma descrição do sistema sociojurídico faz-se necessário enfrentar um elemento único, ausente na maioria dos sistemas complexos: a vontade de alguns dos elementos que o constituem, os seres humanos. A vontade dos agentes humanos, que criam as regras de estrutura e conduta dos sistemas onde estão inseridos, impõe um elevado nível de dificuldade analítica. Pois, ao buscar descrever as relações entre os elementos do sistema sociojurídico, considerando a interação da vontade humana, faz-se necessário descrever os resultados de conflitos e benefícios entre as ações dos indivíduos e as normas positivas por eles criadas, sua transformação em norma jurídica emergente pela interpretação desses mesmos agentes humanos e o ciclo de retroalimentação na rede de fluxos do sistema. Essa interação

¹⁴² SAYAMA, Hiroki. **Introduction to the modeling and analysis of Complex Systems**. New York: Open SUNY, 2015, p. 15; CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999, p. 98; RUHL, John. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p. 849-926, p. 852, 1996.

entre a norma positiva e os modelos internos dos indivíduos que geram a emergência de interpretações e significados poderia, por si só, ser descrita como um sistema complexo.¹⁴³

Por esse motivo, a forma mais usual de estudo dos sistemas jurídicos como sistemas complexos é a analogia entre suas características observáveis e uma avaliação qualitativa da precisão dessas analogias, como as realizadas na Tabela 1 do capítulo 1, ao se descrever, lado a lado, elementos do sistema jurídico e características de um sistema complexo adaptativo. Utiliza-se o mesmo método para uma primeira aproximação do sistema tributário brasileiro como um sistema complexo adaptativo.

Seria possível descrever o sistema tributário brasileiro por meio da rede de relações entre as normas que compõe o sistema com as necessárias relações entre os princípios constitucionais que se influenciam e definem-se em conjunto. Dessa forma, os princípios e normas constitucionais relacionam-se, por meio da hierarquia normativa, a todas as normas jurídico-tributárias. Essa definição de sistema jurídico, admitindo a não coerência do sistema normativo positivo, ainda que idealmente o represente livre de antinomias, permite que as relações entre os elementos do sistema tributário apresentem todas as formas de interferência, competição e cooperação que descrevem relações não lineares e que são aptas a permitirem o aparecimento de padrões emergentes.¹⁴⁴

Mesmo a formulação constitucional exaustiva do sistema tributário brasileiro que permite apenas uma amplitude discricionária limitada ao legislador ordinário, nada podendo ser criado sem expressa previsão constitucional, não seria suficiente para impedir que a dinâmica das relações entre seus elementos apresente padrões complexos. Observa-se apropriada a analogia de Ruhl em relação a estrutura das normas jurídicas e os atratores em sistemas não lineares. As normas e princípios constitucionais serão os grandes atratores desse sistema, estabelecendo as trajetórias juridicamente válidas para o exercício da competência tributária. As normas e princípios constitucionais que apresentem maior rigidez promoverão padrões análogos a um atrator de ponto fixo, como poderia ser atribuído ao princípio da legalidade estrita sobre a criação de tributos. Já outros princípios menos rígidos, como o da igualdade, determinam uma trajetória ampla, porém limitada, para as possíveis configurações de expressão do princípio da igualdade no sistema tributário, sendo análogo a um atrator de ciclo limitado, que permite ampla variação de comportamentos dentro dos limites extremos da sua órbita.¹⁴⁵

¹⁴³BAR-YAM, Yaneer. **Dynamics of Complex Systems**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1997, p. 783.

¹⁴⁴STROGATZ, Steven. H. **Nonlinear Dynamics and Chaos**: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering. Massachusetts: Perseu Books, 1994, p.09; VIEIRA. José R. A Noção de Sistema no Direito. **Revista da Faculdade de Direito da UFPR**, v. 33, p. 61, 2000.

¹⁴⁵ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968, p. 18.

Os atratores estranhos, sensíveis as condições iniciais e potencialmente caóticos, serão análogos, segundo a construção de Ruhl, aos princípios ou normas envolvidos na proteção e expressão individual da vontade humana, como os princípios da propriedade privada e da liberdade de exercício de atividade econômica, aproximando-se, no ordenamento jurídico nacional, das normas constitucionais que versam sobre direitos fundamentais.¹⁴⁶

O mesmo exercício de analogia pode ser feito com as normas constitucionais que determinam as espécies tributárias e induzem padrões de comportamento jurídico do legislador ordinário e dos contribuintes que interagem com a expressão concreta dessas normas. No entanto, a analogia com atratores em sistemas não lineares fornece apenas um nível de descrição do sistema tributário como um sistema complexo, mas não o único possível.

Como um segundo nível descritivo, pode-se escolher um recorte dinâmico do sistema tributário e descrevê-lo por meio das interações próprias de um sistema complexo em busca de novas possibilidades de análise daquele fenômeno jurídico. Pode-se trazer, como exemplo, a descrição da trajetória da taxa de iluminação pública no sistema tributário brasileiro até a criação da contribuição para custeio da iluminação pública.

A necessidade de buscar recursos para o custeio da iluminação pública, sob a justificativa que não era possível seu financiamento por via da arrecadação dos impostos municipais existentes e a impossibilidade de criação de um imposto para este fim específico (segundo as limitações do art. 154, I da CF), levou o legislador municipal a buscar uma outra espécie tributária adequada. Alguns municípios, como o de Niterói, no Rio de Janeiro, instituíram taxa de iluminação pública, cujos elementos encontram-se descritos no texto constitucional e no Código tributário Nacional (art. 145, II e § 2º da CF e arts. 77 e 79, II e III do CTN). Entretanto, a interpretação sobre os elementos de especificidade e divisibilidade das taxas de serviço público, construída pela literatura tributária e, posteriormente, consolidada pela jurisprudência, afirmou ser inadequada a espécie tributária de taxa para esse tipo de serviço público, por não preencher os requisitos de divisibilidade e especificidade requeridos. O entendimento pela inconstitucionalidade da TIP foi expresso pelas cortes superiores. Entretanto, à época, a necessidade de custeio do serviço de iluminação pública continuou pressionando os legisladores municipais, que mesmo diante da interpretação de inconstitucionalidade da cobrança desse serviço público por meio de taxa (mesmo que na época esse entendimento ainda não fosse sumulado, vindo depois a compor a súmula 670 do STF,

¹⁴⁶ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, Vol. 45, No. 5, p.849-926, p. 907-908, 1996.

posteriormente convertida na súmula vinculante 41), coordenaram esforços para uma proposta de emenda constitucional que criasse uma taxa de iluminação pública (PEC 222/2000), alterando a redação do art. 145, II da CF. Essa PEC foi posteriormente abandonada em razão da já consolidada interpretação de inexistência de divisibilidade no serviço de iluminação pública e pela impossibilidade de uso da mesma base de cálculo do IPTU por expressa proibição constitucional (CF, art. 145, § 2º). Assim, a PEC 222/2000 foi rejeitada pelo Senado Federal e em menos de um ano a PEC 559/2002 cria a Emenda Constitucional 39 que insere a norma inscrita no artigo 149-A da Constituição Federal, autorizando os Municípios e o Distrito Federal a instituírem, por lei ordinária, a Contribuição para custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP), finalmente instituindo autorização constitucional para a instituição de tributo que custeia o serviço de iluminação pública.¹⁴⁷

Descrevendo a dinâmica do sistema tributário brasileiro por meio das características de sistemas complexos adaptativos, pode-se identificar na hierarquia normativa e no agrupamento de normas jurídicas segundo sua especialização e relações de cooperação, a propriedade de agregação e o mecanismo de marcação descritos por Holland. Assim, os dispositivos constitucionais tributários que restringem a amplitude criativa do legislador ordinário são agrupadas na seção sobre os limites ao poder de tributar; os dispositivos que descrevem os elementos de cada espécie tributária dão origem a um conjunto de normas, constitucionais e infraconstitucionais, que determinam regimes jurídicos específicos. A propriedade não linear do sistema normativo ocorre nas relações entre as normas, que não apresentam linearidade ou simetria de resultados, como observa-se da não simetria entre a existência de uma norma jurídica e sua relação com os dispositivos legais correspondentes. As redes de fluxos são facilmente identificáveis, estando na própria definição de sistema jurídico como uma rede de relações normativas. A diversidade, como propriedade de sistema complexos, pode ser vista na necessária diversidade de normas jurídicas necessárias para a estruturação do sistema. Por fim, o mecanismo de modelos internos encontra-se na capacidade interpretativa que constrói a norma jurídica. Os modelos internos, que permitem a construção da interpretação normativa, ocorrem a partir da combinação de blocos de significado sobre o dispositivo legal e seu contexto sociojurídico. Esses blocos de significado funcionam como o mecanismo dos blocos de construção em sistemas complexos adaptativos.¹⁴⁸

¹⁴⁷ HARADA, Kiyoshi. **Direito financeiro e tributário**. São Paulo: Atlas, 2016, p. 366; BRASIL. PEC 222/2000. Proposta de Emenda à Constituição; BRASIL. PEC 559/2002. Proposta de Emenda à Constituição.

¹⁴⁸ HOLLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995, p. 15-37.

A dinâmica evolutiva do sistema sociojurídico descreve as relações de força do sistema, que embora limitadas pelas normas jurídicas, não desaparecem diante delas, mas adaptam-se aos obstáculos encontrados e acham expressões, se suficientemente intensas, através de outros elementos do sistema. Assim, ao se observar a trajetória da TIP até a criação da COSIP, pode-se identificar a dinâmica dos vários elementos do sistema tributário, que pode ser descrita por meio das características próprias de um sistema complexo adaptativo. Impedida a formulação de imposto para o serviço de iluminação pública, pela vedação de norma constitucional rígida, que determina um comportamento de atrator de ponto fixo, tentou-se a criação de taxa, na esperança de que ela permitisse maior amplitude de criação para o legislador e pudesse comportar o fenômeno que se desejava tributar. Nesse ponto, a discussão sobre a interpretação dos elementos de especificidade e divisibilidade descritos nas normas do art. 79, II e III do CTN, faz emergir padrão de entendimento nos tribunais superiores que leva o sistema a outro estado de equilíbrio.

A construção da interpretação das normas sobre os elementos de divisibilidade e especificidade ocorre a partir dos blocos de construção já existentes na literatura tributária e na jurisprudência sobre o tema. Ainda assim, a dinâmica do sistema possibilita a criação de propostas de emendas constitucionais que alterariam as normas rígidas que impediram a criação do tributo e que apresentaram resiliência às várias perturbações causadas pela dinâmica de vontades dos legisladores ordinários. A primeira proposta de emenda não termina o seu procedimento de aprovação pelo Senado, pois continua sendo limitada pelo poder de fixação das normas constitucionais, que forçam a estabilização de padrões determinados e cuja interpretação fez emergir padrões na jurisprudência. Entretanto, a segunda proposta de emenda constitucional, aproveitando-se de uma menor resistência do sistema para a criação de novas contribuições, é aprovada e altera o próprio texto constitucional, viabilizando o tributo almejado.

Observa-se nessa dinâmica a descrição das várias relações encontradas em um sistema complexo adaptativo, como visto no capítulo anterior. O sistema tributário foi alterado, em sua estrutura normativa, com a adição de normas e a invalidação de leis ordinárias, e na aplicação das normas tributárias durante essa trajetória. Padrões normativos emergiram a partir das interações entre os elementos do sistema determinando posições jurisprudenciais estabilizadoras. O sistema tributário mudou, adaptou-se às pressões e perturbações do sistema sociojurídico e, assim, evoluiu segundo os conceitos de evolução discutidos no final do capítulo anterior e aos quais se retornará, com maior profundidade, no próximo.

Pode-se observar a dependência das relações de não linearidade dessa trajetória sistêmica, uma vez que a simples subtração do artigo 149-A da Constituição não acarretaria o retorno do sistema sociojurídico ao estado inicial, anterior à dinâmica da criação da COSIP. Enquanto o sistema mudava, a incerteza sobre TIP permitiu que ela fosse cobrada por muitas municipalidades, até a estabilização do sistema pela edição da súmula 670 do STF, posteriormente convertida na súmula vinculante 41, resultando em ações de restituição dos valores arrecadados. Observa-se duas facetas das incertezas geradas pela dinâmica de um sistema não linear: se, por um lado, elas permitem a criação de espaços para a adaptabilidade do sistema, permitindo o surgimento de uma variedade de elementos, interpretações e configurações internas, por outro, elas podem fazer surgir efeitos indesejados. Como aponta Ruhl, se a estabilidade de um sistema complexo se encontra em uma sensível mistura de ordem e caos, a estabilidade dos sistemas sociojurídicos depende, igualmente, de estruturas que permitam a existência do caos suficiente para o sistema poder se adaptar a perturbações internas e externas, mas não além do ponto onde as incertezas geradas pelo caos levariam o sistema ao colapso¹⁴⁹.

Quando se fala da complexidade do sistema tributário, as características apontadas intuitivamente são o volume de normas tributárias, a dificuldade de interpretação dessas normas conjuntamente e o consequente custo de conformação com as mesmas. A partir dessa lógica, sugere-se a simplificação do sistema tributário. E a diminuição da sua complexidade seria possível pela simples supressão do número de normas. Entretanto, essas características se mostram como consequências da complexidade do sistema tributário, uma vez descrito como um sistema complexo, não suas causas.¹⁵⁰

A descrição de um sistema complexo comporta vários níveis de acordo com as particularidades do sistema estudado. A descrição por analogias permite a observação qualitativa de elementos gerais entre os sistemas comparados, porém, não fornece elementos claros sobre a dinâmica específica das estruturas do sistema. As teorias desenvolvidas sobre direito e complexidade, preponderantemente, utilizam-se de descrições por analogia, como a realizada com a dinâmica da TIPI e COSIP, para explorar novas perspectivas para a compreensão dos sistemas jurídicos sob perspectiva interdisciplinar. Alguns pesquisadores,

¹⁴⁹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1442, 1996; BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Súmula nº 670. O serviço de iluminação pública não pode ser remunerado mediante taxa.

¹⁵⁰ RUHL, John B.; KATZ, Daniel M. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. **Iowa Law Review**, n.15-1, v.101, p.195, fev.2015.

entretanto, começam a buscar modelos formais de descrições do sistema jurídico para uma melhor caracterização de uma teoria de Direito e complexidade. Destaca-se os trabalhos de Katz, Bommarito *et al.*, que, por meio de várias pesquisas utilizando métodos formais de análise de sistemas complexos ao sistema sociojurídico norte-americano, descreveram aquele sistema como um sistema complexo adaptativo. Embora os resultados obtidos pelos pesquisadores norte-americanos indiquem que o sistema jurídico de *common law* pode ser descrito como um sistema complexo adaptativo, seus resultados não podem ser generalizados para todos os sistemas jurídicos, pela própria natureza da pesquisa em sistemas complexos, que admite grande variedade de métodos, e em razão das diferenças na estrutura e dinâmica entre os sistemas de *common law* e *civil law*. Além disso, as dificuldades inerentes à pesquisa da complexidade social impõem limitações sobre a capacidade de modelar esses sistemas, sendo computacionalmente inviável a modelagem completa de um sistema complexo social, com se observará no capítulo seguinte.¹⁵¹

Entretanto, a dinâmica das relações entre os elementos é o fator de maior importância para a descrição de um sistema complexo, pois as suas propriedades estão associadas diretamente as interdependências entre seus elementos. Desta forma, se for possível realizar uma descrição dessas interdependências que estruturam os sistemas tributários, seria possível uma primeira descrição formal como um sistema complexo adaptativo.¹⁵²

Todos os sistemas complexos podem ser descritos por redes de conexões e essas redes podem ser representadas em vários níveis dentro do sistema. No sistema tributário, pode-se representar uma rede normativa fundamental que represente as normas jurídico-tributárias positivadas e suas relações formais. A essa rede pode-se acoplar uma rede de interpretações onde os elementos normativos encontram-se ligados por relações de significado fornecidos pela dinâmica dos operadores do direito individualmente e pela jurisprudência dos tribunais. Essas duas redes, das leis positivadas em dispositivos legais e das normas jurídicas criadas por meio

¹⁵¹ KATZ, Daniel M.; BOMMARITO, Michael J. Measuring the Complexity of the Law: The United States Code. **Artificial Intelligence and Law**, v. 337, 2013; KATZ, Daniel M.; STAFFORD, Derek K. Hustle and Flow: A Social Network Analysis of the American Federal Judiciary. **Ohio State Law Journal**, Vol. 71, No. 3, 2010; BOMMARITO, Michael J.; KATZ, Daniel M.; ISAACS SEE, Jillian. An Empirical Survey of the Population of United States Tax Court Written Decisions. **Virginia Tax Review**, Vol. 30, No. 2, mar. p. 523-557, 2011; BOMMARITO, Michael J.; KATZ, Daniel M.; ZELNER, Jon. Law as a Seamless Web? Comparison of Various Network Representations of the United States Supreme Court Corpus (1791-2005). **Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence and Law**. jun. 2009; BOMMARITO, Michael J.; KATZ, Daniel M. A Mathematical Approach to the Study of the United States Code. **Physica A**, Vol. 389, p. 4192-4200, mar. 2010; Katz, Daniel M.; STAFFORD, Derek K.; PROVINS, Eric A. Social Architecture, Judicial Peer Effects and the 'Evolution' of the Law: Toward a Positive Theory of Judicial Social Structure. **Georgia State Law Review**, Vol. 23, out. 2008; BOMMARITO, Michael J.; KATZ, Daniel M.; ZELNER, Jon *et al.* Distance Measures for Dynamic Citation Networks. **Physica A**, Vol. 389, p. 4201-4208, 2010.

¹⁵² BAR-YAM, Yaneer. **Dynamics of Complex Systems**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1997, p. 791.

da sua interpretação, coevoluem, como no caso da COSIP. A emergência de padrões novos na rede de interpretações jurídicas causou mudanças na rede de normas tributárias positivas e a inserção de nova norma (CF, art. 149-A). A inovação normativa agiu reflexivamente na rede de interpretações, ainda sendo discutido nos tribunais as repercussões da criação da COSIP. Em outro nível, ainda, poderia ser modelada uma rede que descreve o sistema tributário em relação aos seus efeitos fiscais e extrafiscais, aproximando a análise do sistema tributário da realidade socioeconômica e da sua interferência sobre os direitos de propriedade e liberdade econômica.

Inicialmente, considerando ainda a pequena produção jurídica nacional nessa área de pesquisa, a literatura mantém-se, majoritariamente, em descrições por analogia do sistema sociojurídico. Desta forma, uma primeira abordagem para uma descrição formal pode ser realizada através da representação das relações jurídicas mais simples do sistema tributário por meio de redes, a estrutura fundamental de qualquer sistema complexo. De fato, grande parte dos fenômenos sociais podem ser representados pela estrutura topológica das suas conexões e a dinâmica temporal da atividade humana envolvida. A estrutura dessas relações mostra-se como fator fundamental, não sendo possível uma completa compreensão do sistema sem seu estudo. Considerando que qualquer sistema composto por partes conectadas pode ser representado por uma rede, e o sistema jurídico, como descrito nas seções iniciais do presente capítulo, foi descrito fundamentalmente por meio de suas relações, parece adequado buscar uma forma de representá-lo por meio de redes.¹⁵³

2.3 TRIBUTOS REPRESENTADOS EM REDE

Uma descrição da totalidade das relações normativas do sistema tributário nacional apresentaria inúmeras dificuldades, especialmente a própria determinação dessas relações. De fato, mesmo a construção normativa mais simples, a partir do dispositivo legal subjacente, comporta uma complexa dinâmica por meio dos modelos internos dos seus intérpretes. Assim, opta-se por realizar o presente estudo a partir dos elementos mais básicos que constroem as normas tributárias: os dispositivos legais que descrevem as espécies tributárias.

¹⁵³ MIRITELLO, Giovanna. **Temporal Patterns of Communications in Social Networks**. London: Springer, 2013, p. 3; NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010, p. 03.

Para tanto, e como se deseja descrever o sistema tributário como um sistema complexo, dentre as normas que formam o sistema tributário brasileiro, como previamente formulado, opta-se por aquelas que descrevem as espécies tributárias, seja em dispositivos legais constitucionais ou infraconstitucionais. Se por um lado esses dispositivos não constituem as normas e princípios constitucionais já descritos nesse capítulo, que caracterizam, segundo a literatura tributária, a sua estrutura, elas são os elementos concretizadores daqueles mandamentos constitucionais e representem uma descrição de baixo para cima (*bottom up*), apropriada à lógica de auto-organização dos sistemas complexos.¹⁵⁴

Assim, adota-se dois níveis de descrição em busca das relações normativas: no primeiro nível, observado os dispositivos legais atinentes a cada espécie tributária, havendo referência a outra espécie, seja para indicar incidência, suspensão, isenção, destinação conjunta de recursos ou outra relação jurídica entre os tributos observados, considerar-se-á estabelecida uma relação. Os tributos com previsão constitucional mas não instituídos não serão considerados (como o Imposto sobre Grandes Fortunas e o Imposto Extraordinário de Guerra).

Em um segundo nível, busca-se uma relação não literal entre os tributos, porém fazendo uso de elementos de caracterização da própria exação, como sua base de cálculo ou fato gerador, desde que incontroversos.

Busca-se com essas medidas evitar regressões ao infinito sobre a rede de tributação. Assim, para o presente estudo, os reflexos da tributação sobre medicamentos veterinários na atividade econômica turfística não são considerados passíveis de distinção, por exemplo, para que possam ser ligados à Contribuição à Comissão Coordenadora da Criação do Cavalo Nacional.

Pela mesma razão, não serão considerados ligados aos impostos relacionados ao consumo outros que possam exercer influência cumulativa na formação do preço mas sem atendimento aos parâmetros estabelecidos para a coleta de dados.

O objetivo inicial da descrição da rede de tributações seria estabelecer uma representação simples das relações entre os dispositivos legais que constroem as normas das espécies tributárias, em um nível básico de estudo do sistema tributário como um CAS. Frisa-se ainda que não é importante, para o presente estudo, a intensidade dessas relações. De forma que, havendo dez relações entre dois tributos, é suficiente a constatação da primeira, sendo as

¹⁵⁴ WALDROP, M. Mitchell. **Complexity**: the emerging science at the edge of the order and chaos. New York: Touchstone, 1992, p. 239; NICOLIS, Gregoire; NICOLIS, Catherine. **Foundations of Complex Systems**: Nonlinear dynamics, statistical physics, information and prediction. World Scientific Publishing: Singapore, 2007, p. 17.

demais redundantes. Justifica-se essa escolha, pois, a representação em redes construída nesse capítulo será tomada como base para os conceitos tratados nos capítulos 3 e 4, sobre a dinâmica de evolução do sistema tributário, a partir do modelo de paisagens de adaptação, que requer tão somente a constatação de existência ou não das relações entre os elementos de um sistema complexo, não a intensidade dessas relações.

A forma mais simples de descrever uma rede de elementos é um conjunto de pontos unidos em pares por linhas. Formalmente, denomina-se os pontos de vértices, nodos, indivíduos, ou agentes, e as linhas são denominadas arestas, laços, arcos ou links, dependendo do que será representado pela rede. Deve-se notar que os vértices podem representar desde um único elemento, como uma pessoa, ou um alelo, como times de futebol, empresas ou países. As arestas unem apenas dois vértices.¹⁵⁵

Uma rede tem sua melhor representação matemática feita por meio de grafos, que em sua definição englobam todos os elementos necessários a definição de uma rede. Assim, pode-se dizer que as redes são espécies de grafos.

Assim, um grafo G consiste em uma coleção V de vértices e uma coleção E de arestas, de forma que se pode escrever $G = (V, E)$. Cada aresta $e \in E$ une dois vértices, que são chamados pontos terminais. Se e une $u, v \in V$, escreve-se $e = \langle u, v \rangle$. Os vértices u e v são chamados de adjacentes. A aresta e é dita ser incidente com os vértices u e v , respectivamente.¹⁵⁶

Ou de forma mais sintética, pode-se dizer que um grafo (V, A) consiste de um conjunto de vértices $V = \{1, \dots, n\}$ e uma matriz real $n \times n$, A , onde A_{ij} representa a relação entre os elementos i e j da matriz. A matriz A é chamada de matriz adjacente, tal que:

$A_{ij} = 1$ se existe uma aresta entre os vértices i e j ou $A_{ij} = 0$ de outra forma.

As relações entre os elementos i e j podem se dar por arestas não direcionais, ou seja, $A_{ij} = A_{ji}$, ou direcionais onde $A_{ij} \neq A_{ji}$, para todos os vértices i e j ¹⁵⁷.

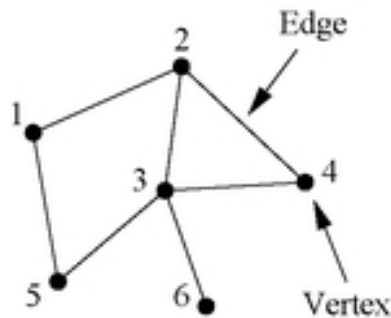
Assim, se $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, apresentada pelo grafo:

¹⁵⁵ JACKSON, Matthew. **Social and Economic Networks**. Princeton: Princeton University Press, 2008, p. 40-41; NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010, p. 03-04.

¹⁵⁶ STEEN, Maarten. **Graph Theory and Complex Networks: An Introduction**. Berlin: MVS Press, 2010, p. 18.

¹⁵⁷ JACKSON, Matthew. **Social and Economic Networks**. Princeton: Princeton University Press, 2008, p. 41.

Figura 1 – grafo unidirecional, com 6 vértices (vertex) e 7 arestas (edges).



Fonte: Newman, 2010, p. 111.

A matriz adjacente para o grafo da figura 01 seria:

Figura 2 – matriz adjacente

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Fonte: Newman, 2010, p. 111.

Observe-se que onde não existe auto-arestas, ou seja, nenhum vértice possui arestas que saem e chegam em si mesmos, ou arestas de auto-referenciação, a diagonal da matriz adjacente é zero. Além disso, a matriz apresenta simetria, uma vez que existe uma aresta entre i e j então haverá uma aresta entre j e i , de forma a contarmos o dobro de numerais 1 na matriz adjacente, que representam as conexões realizadas pelas arestas, que o número de arestas representadas graficamente.¹⁵⁸

Observa-se que a rede representada acima não é direcional, ou seja, não é possível saber a origem e o destino das arestas, uma vez que $A_{ij} = A_{ji}$, da mesma forma, não é possível distinguir a intensidade das relações entre os vértices, não sendo atribuído peso às relações estabelecidas. Embora a representação elegida para ser usada nesse trabalho seja a de um grafo não direcional, é possível representar grafos direcionais, observando-se uma direção

¹⁵⁸ NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010, p. 111.

preferencial entre os vértices, ou seja $A_{ij} \neq A_{ji}$, e mesmo contando-se a intensidade de conexões entre os vértices, quando incidentes múltiplas arestas.¹⁵⁹

Neste capítulo, dentre as várias relações existentes nas redes, que podem ser matematicamente analisadas, utiliza-se apenas duas: o grau de conectividade de cada vértice e o grau de conectividade médio da rede.

O grau de um vértice é o número de arestas conectados a ele. Assim, o grau (d) do vértice i é d_i . Considerando um grafo não direcional de n vértices, o grau de um vértice (d_i) pode ser escrito, em termos da matriz adjacente, como apresentado na eq. 1 a seguir.¹⁶⁰

$$d_i = \sum_{j=1}^n G_{ij} \quad (\text{eq. 1})$$

Considerando que cada aresta, em um grafo não direcional, possui duas extremidades, havendo m vértices, teremos $2m$ extremidades de arestas em todo o grafo. Assim, o número de extremidades de arestas será o mesmo que a soma dos graus de todos os vértices, eq. 2:

$$2m = \sum_{i=1}^n G_{ij} \quad (\text{eq. 2})$$

Como resultado, o grau médio (D_m) de um vértice em um grafo não direcional será, eq. 3:

$$D_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_{ij} \quad (\text{eq. 3})$$

Combinando esse resultado com a eq. 2, obtém-se a eq. 4:

$$D_m = \frac{2m}{n} \quad (\text{eq. 4})^{161}$$

¹⁵⁹ NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010, p. 112-114.

¹⁶⁰ NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010, p. 133.

¹⁶¹ NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010, p. 134.

O grau de cada vértice e o grau médio de cada vértice serão as únicas métricas utilizadas para a construção da representação aqui proposta, uma vez que não se trata de um estudo sobre o sistema tributário por meio de análise de redes, mas apenas a demonstração da possibilidade da sua representação por meio delas.

Definido o conceito de rede e as propriedades que utilizar-se-á neste trabalho, passa-se a considerar os elementos que comporão a descrição.

Foram selecionados 68 tributos, entre todas as espécies tributárias, cuja legislação encontrava-se acessível na rede mundial de computadores (*internet*).

O anexo I apresenta os tributos selecionados e os dispositivos legais onde encontrou-se a referências a outros tributos. As autorreferências foram ignoradas, por simplicidade na construção do grafo e, conseqüentemente, da representação da rede de normas tributárias. A lista de tributos não é exaustiva, mas exemplificativa de um subconjunto de dispositivos legais sobre normas tributárias.

O protocolo utilizado para a coleta das conexões foi:

1. Se o dispositivo legal A que trata do tributo *a* contém referência explícita ao tributo *b*, então, existe ligação entre *a* e *b*;
2. Se o dispositivo legal A que trata do tributo *a*, contém referência ao fato gerador ou base de cálculo do tributo *b*, então, existe ligação entre *a* e *b*;
3. Se vários tributos compartilham uma mesma base de cálculo ou fato geradores, existe ligação entre cada tributo envolvido com todos os outros que apresentam o mesmo compartilhamento.

Frisa-se que uma única relação entre o tributo *a* e *b* obtida por qualquer uma das quatro formas do protocolo será suficiente para estabelecer a relação entre as normas. Tratando-se de um grafo não direcional, não importa o tributo de origem e o de destino, a representação unidirecional não permite qualquer distinção sobre essa característica da rede.

A Tabela 2 lista os 68 tributos escolhidos para essa descrição, tomados por comparação com várias listas de tributos disponíveis na rede mundial de computadores que buscam exemplificar o excessivo volume da tributação brasileira. O anexo I contém os fatores de ligação encontrados entre os tributos explorados. Os tributos abaixo listados são exemplificativos. As siglas nem sempre coincidem com aquelas usadas pela literatura e foram adotadas por facilidade de representação.¹⁶²

¹⁶² Por exemplo, a lista encontrada no sítio online Portal Tributário e replicada em inúmeros sítios. PORTAL TRIBUTÁRIO. Os tributos no Brasil. Disponível em: < <http://www.portaltributario.com.br/tributos.htm>>. Acesso em: 04 set. 2018.

Tabela 02 – Lista dos tributos analisados.

Nº	Tributo 01
01	Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM)
02	Contribuição à Comissão Coordenadora da Criação do Cavalo Nacional (CCCCN)
03	Contribuição a Direção de Portos e Costas (CDPC)
04	Contribuição ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CIDE – roy)
05	Contribuição ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, também chamado "Salário Educação" (CFNDE)
06	Contribuição ao Funrural (FUNRURAL)
07	Contribuição ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (CINCRA)
08	Contribuição ao Serviço Brasileiro de Apoio à Pequena Empresa (CSEBRAE)
09	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Comercial (CSENAC)
10	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado dos Transportes (CSENAT)
11	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Industrial (CSENAI)
12	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Rural (CSENAR)
13	Contribuição ao Serviço Social da Indústria (CSESI)
14	Contribuição ao Serviço Social do Comércio (CSESC)
15	Contribuição ao Serviço Social do Cooperativismo (CSESCOOP)
16	Contribuição ao Serviço Social dos Transportes (CSEST)
17	Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico Combustíveis (CIDE-Comb)
18	Contribuição do Grau de Incidência de Incapacidade Laborativa decorrente dos Riscos Ambientais do Trabalho (GIL-RAT)
19	Contribuição para a Assistência Social e Educacional aos Atletas Profissionais (CFAAP)
20	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública Emenda Constitucional (COSIP)
21	Contribuição para o Desenvolvimento da Indústria Cinematográfica Nacional (CONDECINE)
22	Contribuição para o Fomento da Radiodifusão Pública (telefonia) (CFRP)
23	Contribuição para o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (CFGTS)
24	Contribuição para Programa de Integração Social (PIS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público, Lei n. 10.637/2002. CPIS/PASEP
25	Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta (CPRB)
26	Contribuição sobre a Receita de Concursos de Prognósticos (CRCP)
27	Contribuição Social Adicional para Reposição das Perdas Inflacionárias do FGTS CSA-FGTS
28	Contribuição Social do Trabalhador (CST)
29	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS)
30	Contribuição Social Patronal (CSP)
31	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL)
32	Contribuições aos Órgãos de Fiscalização Profissional (COFP). (OAB, CRC, CREA, ect)
33	Contribuições de Melhoria (CM)
34	Imposto de Transmissão de Bens Imóveis Inter-Vivos (ITBI)
35	Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU)
36	Imposto sobre a Exportação (IE)

37	Imposto sobre a Importação (II)
38	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)
39	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR)
40	Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza (IRPJ)
41	Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza de Pessoas Físicas (IRPF)
42	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS)
43	Imposto sobre Operações de Crédito (IOF)
44	Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI)
45	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS)
46	Imposto sobre Transmissão Causa Mortis e Doação (ITCMD)
47	Taxa de Avaliação da Conformidade (TIMETRO)
48	Taxa de Avaliação in loco das Instituições de Educação e Cursos de Graduação (TAIE)
49	Taxa de Classificação, Inspeção e Fiscalização de produtos animais e vegetais ou de consumo nas atividades agropecuárias (TCIFPAeV)
50	Taxa de Controle Administrativo de Incentivos Fiscais (TCIF)
51	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA)
52	Taxa de Controle e Fiscalização de Produtos Químicos (TCFPQ)
53	Taxa de Fiscalização da Aviação Civil (TFAC)
54	Taxa de Fiscalização da Comissão de Valores Mobiliários (TFCVM)
55	Taxa de Fiscalização de Funcionamento das Telecomunicações (TFFT)
56	Taxa de Fiscalização de Instalação das Telecomunicações (TFIT)
57	Taxa de Fiscalização de Sorteios, Brindes ou Concursos (TFSBC)
58	Taxa de Fiscalização de Vigilância Sanitária (TFVS)
59	Taxa de Fiscalização dos Produtos Controlados pelo Exército Brasileiro (TFPC)
60	Taxa de Fiscalização e Controle da Previdência Complementar (TAFIC)
61	Taxa de Licenciamento Anual de Veículo (TLAV)
62	Taxa de Licenciamento, Controle e Fiscalização de Materiais Nucleares e Radioativos e suas instalações (TLCMNR)
63	Taxa de Outorga - Rádios Comunitárias (TORC)
64	Taxa de Outorga - Serviços de Transportes Terrestres e Aquaviários TOSTTA
65	Taxa de Outorga e Fiscalização - Energia Elétrica (TOFEE)
66	Taxa de Utilização de Selo de Controle (TUSC)
67	Taxa de Utilização do Sistema de Controle de Arrecadação do Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante (MERCANTE).
68	Taxas de Saúde Suplementar – Agência Nacional de Saúde (TSS-ANS)

Fonte: O autor, 2019.

Uma vez listados os tributos e verificadas suas conexões por meio do protocolo anteriormente descrito, representou-se o conjunto de dados em uma rede não direcional, no qual cada vértice representa os dispositivos legais que descrevem a norma de determinado tributo e as arestas representam as conexões normativas por meio dos dispositivos legais analisados.

Calculou-se o grau de cada vértice e o grau médio da rede obtida. Graficamente, o diâmetro dos vértices é proporcional ao seu grau. A análise de redes utiliza-se frequentemente de algoritmos para processar os dados e fornecer representações graficamente precisas em

relação às estruturas estudadas. Um algoritmo pode ser definido como um processo computacional bem definido que recebe dados e os processa por meio de uma sequência de passos que transforma esses dados de entrada (*input*) em dados tratados de saída (*output*).¹⁶³

A distribuição espacial da rede foi determinada com a aplicação de um algoritmo de força aos dados (*Force Atlas*), que se utiliza exclusivamente das informações fornecidas pela estrutura da rede para estabelecer relações de força de atração e repulsão entre os vértices (proporcionalmente ao grau de cada vértice), de modo a distribuir espacialmente a rede para evidenciar suas características estruturais.¹⁶⁴

Em razão da pequena quantidade de elementos, o grafo encontrou um estado estável em 07 segundos. Posteriormente, aplicou-se gradações de cor, proporcionais às relações entre os graus dos vértices, para tornar o grafo facilmente legível. Assim, quanto mais claros os vértices, maior seu grau de conexão. Em um primeiro momento, foram considerados apenas as relações provenientes do primeiro nível do protocolo, ou seja, apenas relações expressas nos dispositivos legais referenciais aos tributos analisados, obtendo-se a seguinte representação da

As representações em rede buscam evidenciar aspectos topológicos que surgem como reflexos das interações entre seus componentes. A forma inicial de representações em redes é sempre estática, como as realizadas neste trabalho, embora seja possível processar as mudanças nas conexões dos vértices e na topologia da rede dinamicamente quando, por exemplo, estuda-se a dinâmica de evolução estrutural de um sistema ou a difusão de informações por meio das redes de fluxos.¹⁶⁵

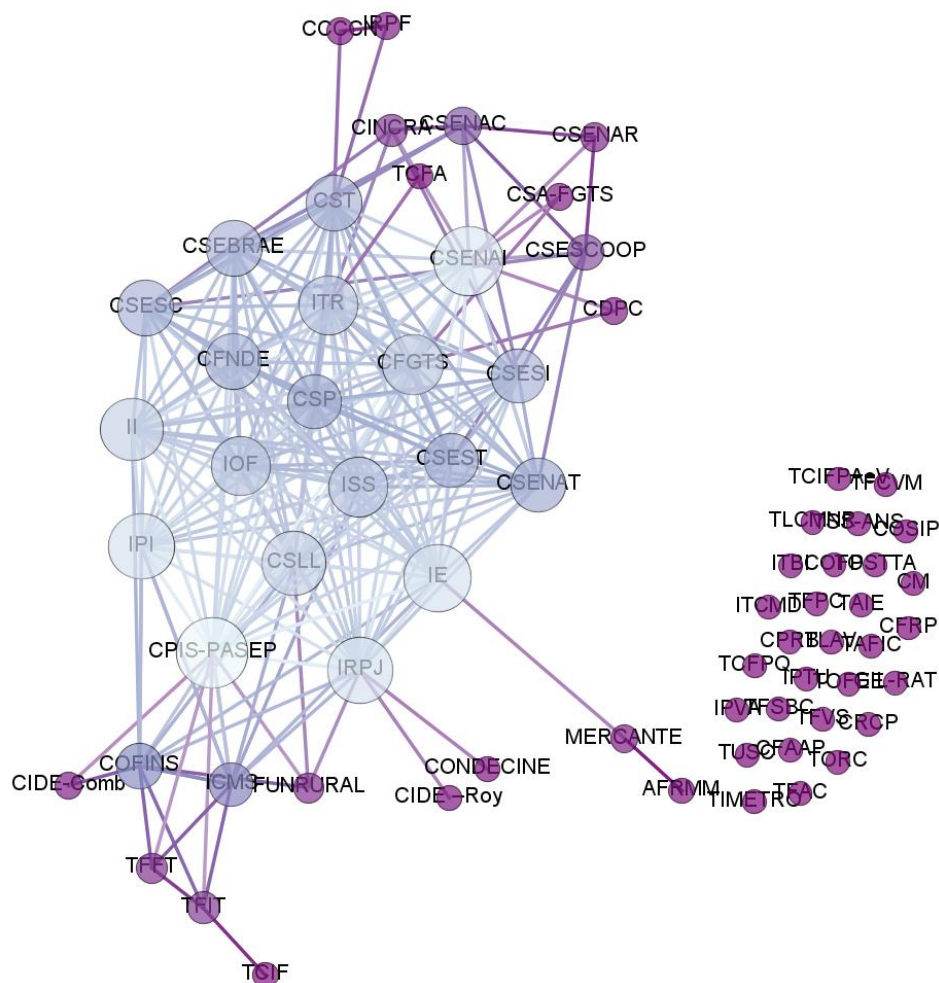
Busca-se, nas representações realizadas neste trabalho, demonstrar outra possibilidade de estudo do sistema tributário baseada na análise de dados empíricos sobre as relações entre quaisquer dos elementos do sistema que sejam elegidos. No caso da Figura 3, faz-se possível inquirir as relações entre as características topológicas encontradas e os fenômenos sociojurídicos em estudo.

¹⁶³ CORMEN, Thomas H.; LEISERSON, Charles E.; RIVEST, Ronald L. *et al.* **Introduction to Algorithms**. Cambridge: The MIT Press, 2009, p.5.

¹⁶⁴ KOBOUROV, Stephen G. Force-Directed Drawing Algorithms. In TAMASSIA, Roberto. **Handbook of Graph Drawing and Visualization**. New York: Chapman and Hall, 2013, p. 383; JACOMY M.; VENTURINI T.; HEYMANN, S. *et al.* ForceAtlas2: a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. **PLoS ONE**, v.9, n. 6, e98679.

¹⁶⁵ HOLLAND, John H. **Signals and boundaries: building blocks for complex adaptive systems**. Cambridge: MIT Press, 2012, p. 133-135.

Figura 3 - Rede de tributos nível 1



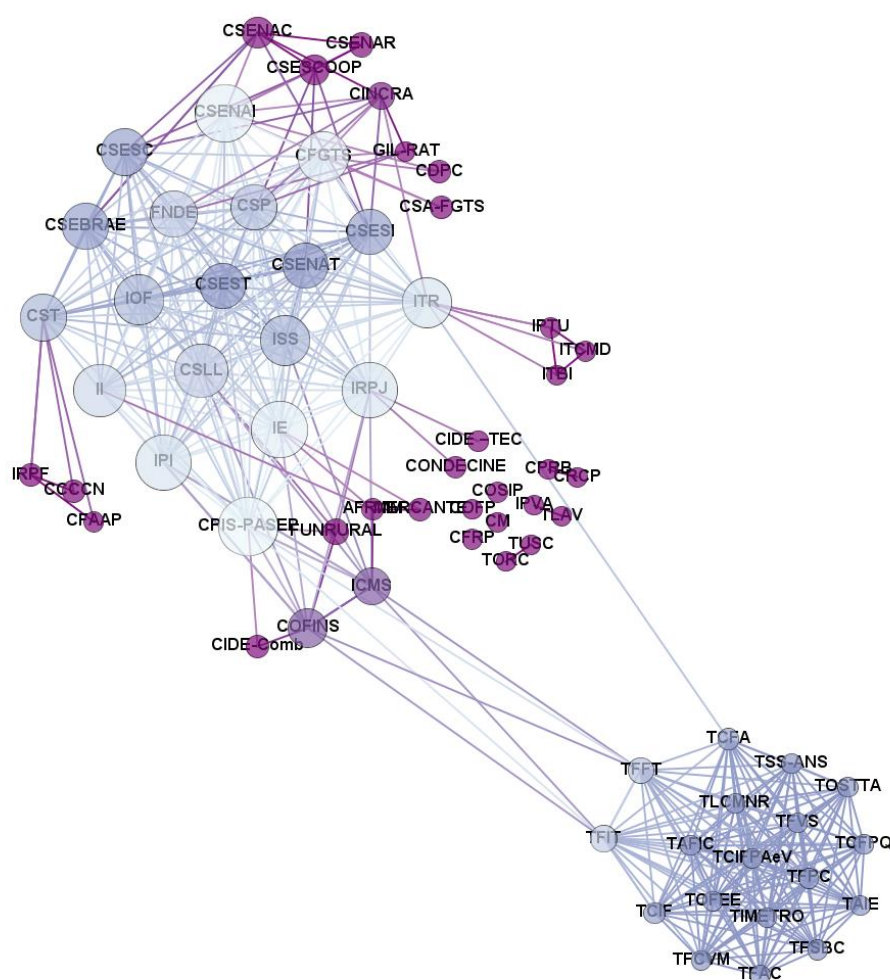
Fonte: O autor, 2019.

Por exemplo, observe-se que os vértices não conectados à direita são em sua maioria taxas, cujos dispositivos legais não fazem referência expressa a qualquer outro tributo analisado e alguns impostos e contribuições onde, igualmente, os dispositivos legais não oferecem referência externa. O grau médio da rede obtida é 6.882, ou seja, cada vértice (tributo) relaciona-se com aproximadamente outros 6. A rede possui 68 vértices e 234 arestas. Em seguida, adicionou-se o segundo nível do protocolo de análise dos dispositivos legais, buscando fatos geradores e bases de cálculo semelhantes, obtendo-se a seguinte representação indicada na Figura 4 a seguir, por meio da aplicação do mesmo algoritmo de força (*Force Atlas*), que em 08 segundos alcançou um estado estável.

Com as novas conexões providas com a aplicação do segundo nível de protocolo, a quantidade dos elementos desconectados diminuiu. A maioria das taxas traz como fato gerador

comum, em um primeiro plano de análise, o exercício, potencial ou efetivo, do poder de polícia por meio de fiscalizações que as une no componente agregado inferior. Algumas taxas que já se encontravam no componente principal da rede, fazem a ligação com as outras taxas no componente inferior. Deve-se notar, entretanto que o poder de polícia pode encontrar subdivisões não se apresentando como um fator homogêneo. Uma análise detalhada das conexões derivadas desse fato gerador acarretaria uma subdivisão em redes multiniveladas de conexões, que excedem o escopo do presente trabalho. Alguns binários de tributos se formam na parte mediana direita, desconectados dos componentes principais.

Figura 4 – Rede de tributos nível 2.



Fonte: O autor, 2019.

É possível perceber que as contribuições do sistema S, bem como os tributos elencados na Lei Complementar 123/2006 (Simples Nacional) apresentam uma maior densidade de conexões, uma vez que as primeiras compartilham, em sua maioria, a mesma base

de cálculo e os segundos são citados de forma enumerativa, expressamente, no texto legal da Lei Complementar 123/2006. O grau médio da segunda rede é 12.147, com os mesmos 68 vértices, mas agora com 413 arestas.

Essas duas representações em rede de um subconjunto do sistema tributário brasileiro por meio de grafos descrevem uma possível forma de representação das relações entre as normas jurídico tributárias. Encontrar uma forma de representação das conexões jurídicas é um dos primeiros passos para uma representação do sistema tributário e, posteriormente, do sistema sociojurídico, como um sistema complexo.

Observa-se que a modelagem de um sistema complexo se inicia pelo extremo oposto do que foi realizado para a caracterização de um sistema jurídico. Parte-se dos elementos mais simples, cujas relações possam ser descritas de forma básica, e a partir deste ponto adiciona-se níveis de elementos e relações até o limite de representação dado pela capacidade computacional disponível. Justifica-se essa escolha considerando que os padrões emergentes surgem a partir das interações dos elementos de níveis inferiores ao nível do fenômeno emergente, não sendo proveitoso buscar descrevê-los a partir de níveis superiores. Ao descrevermos o sistema jurídico, por outro lado, devido às características da hierarquia normativa, inicia-se no nível mais elevado da Constituição, descendo por meio de princípios e normas constitucionais até a rede de normas infraconstitucionais.

O sistema sociojurídico apresenta-se como um caso híbrido, no qual a estrutura pré-ordenada *top-down*, com base na hierarquia normativa, encontra emergências *bottom-up* derivadas das interações entre os elementos mais simples do sistema. A dinâmica dessa interação e as variações que são causadas nos processos de formação de padrões sociojurídicos ainda não foram satisfatoriamente discutidas por qualquer teoria da complexidade jurídica. Menos exploradas ainda são as tentativas de modelagem do sistema sociojurídico que tomem em consideração essas características de dinâmica híbrida.

Não é o objetivo do presente estudo realizar uma extensiva análise de redes sobre o sistema tributário brasileiro, mas demonstrar que é possível descrevê-lo como uma rede de relações normativas e dela extrair informações que podem auxiliar uma melhor compreensão do sistema. Utilizou-se, apenas duas métricas de análise de redes, que fornecem informações básicas sobre as dependências do sistema. Sendo assim, é possível dizer, a partir das representações e métricas obtidas, que a segunda representação da rede de tributos (Figura 4) possui maior interdependências entre seus elementos, a partir do aumento do seu grau médio.

Observa-se o fenômeno de espalhamento em redes, no qual a modificação de um determinado dispositivo legal, atinente a uma norma tributária, poderia repercutir em todas as outras a ela ligadas. Além disso, a tarefa de conformidade tributária com um tributo hipotético do vértice H , por exemplo, que deva levar em consideração os dispositivos legais daquele vértice e de todos os outros n vértices a ele ligados poderia fornecer uma métrica mais precisa para otimizações de processo de conformidade tributária e reformas que visem sua celeridade e simplificação. Sobre tudo, as representações em rede mostram a importância das interdependências entre os elementos de um CAS e como elas são fundamentais na sua dinâmica.¹⁶⁶

Ainda, deve-se apontar que a modelagem formal de um sistema complexo não exclui a sua descrição por meio de analogias, como realizado no trabalho de Ruhl e com a COSIP. De fato, possivelmente a descrição formal pode mostrar quais analogias são adequadas diante dos resultados obtidos com dados empíricos. Por outro lado, a descrição por analogia permanece como único meio de descrever níveis de complexidade que ainda não podem ser modelados de maneira formal. No exemplo da COSIP, verifica-se que nos dois grafos que descreveram as interações do subconjunto de normas tributárias exemplificado, a contribuição permaneceu isolada, uma vez que as leis municipais não foram analisadas e o dispositivo constitucional que descreve a COSIP não permite referência a outro tributo. Logo, o estudo da dinâmica da COSIP através de uma descrição por redes deveria partir de protocolos diversos dos aqui adotados, possivelmente formulados a partir da descrição por analogia da sua dinâmica e então integrados em uma representação mais ampla do sistema tributário.

Uma vez observado que é possível descrever o sistema tributários por meio de suas redes de relações, deve-se notar que os grafos das Figuras 3 e 4 modificam-se, aparentemente, na proporção em que as interrelações entre seus elementos aumenta. A mudança na sua topologia é nítida e deve-se às novas conexões que forçam o algoritmo aplicado a considerar novas forças de atração e repulsão na formação espacial do grafo. Inicialmente, essas representações parecem reforçar a ideia de que a diminuição do número de dispositivos legais, diminuindo a quantidade de vértices e arestas, simplificaria o sistema. Entretanto, o estudo de sistemas complexos constata que existem limites, máximos e mínimos, entre os quais um sistema complexo adaptativo pode prosperar, sem temer catástrofes em um extremo e restando sua habilidade de produzir estruturas emergentes em outro. Esse é o espaço entre a ordem e o

¹⁶⁶ MIRITELLO, Giovanna. **Temporal Patterns of Communications in Social Networks**. London: Springer, 2013, p. 107-109; KAUFFMAN, Stuart A. **The Origins of Order: Self-organization and selection in evolution**. New York: Oxford University Press, 1993, p. 40

caos que Ruhl coloca como o estado ideal para o sistema sociojurídico. Esse estado e a dinâmica que leva até ele será descrito por meio da teoria de evolução em sistemas complexos, inicialmente discutida no final do capítulo anterior.¹⁶⁷

Foi tratado nesse capítulo da descrição do sistema tributário brasileiro como um sistema jurídico e como ela pode ser coincidente com uma descrição formal de um sistema complexo.

Utilizando-se da teoria de redes e de dados empíricos colhidos da análise da legislação tributária foi representada uma parte do sistema tributário brasileiro por meio de redes e realizada análises topológicas de características gerais das redes assim obtidas. Uma descrição formal que sublinhe as conexões entre os elementos do sistema tributário é essencial para a modelagem do sistema tributário como uma paisagem de adaptação que será o objeto do próximo capítulo.

¹⁶⁷ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, Vol. 49, p.1442, mar. 1996.

3. O MODELO NK DE KAUFFMAN

Este capítulo trará uma detalhada explicação do modelo NK de paisagens adaptativas e das teorias de evolução e complexidade que o fundamenta. Serão discutidas as várias formas de modelagem utilizadas nas ciências da complexidade e quais as mais utilizadas na literatura para aplicações do modelo NK. Posteriormente, algumas das mais conhecidas aplicações do modelo NK em diversas áreas, inclusive no Direito, serão apresentadas, discutindo-se as limitações e potencialidades encontradas pelos diversos autores.

3.1 O DESENVOLVIMENTO DO MODELO NK

No capítulo 2 mostrou-se possível a representação do sistema tributário por meio redes, teoricamente descritas no capítulo 1 como sendo um elemento estrutural fundamental de qualquer sistema complexo. Na seção 1.3 discutiu-se alguns elementos da teoria de evolução aplicada a ciências sociais e ao Direito, encontrados na teoria de Ruhl, e o conceito de paisagens de adaptação como uma forma de visualização da dinâmica evolutiva do sistema sociojurídico. Nesta seção 3.1, tais conceitos serão expandidos ao se explorar o conceito de paisagens de adaptação (*fitness landscapes*) em sua origem nas ciências biológicas, sua adaptação na obra de Kauffman e posterior aplicação em diversas áreas das ciências sociais.¹⁶⁸

Primeiramente, deve-se retomar a ideia de evolução como uma das principais dinâmicas em sistemas complexos adaptativos. A evolução, como compreendida pela teoria biológica, possui aspectos estruturais universais e não pode ser reduzida à física. Ou seja, muito embora as características da evolução possam ser encontradas não apenas em sistemas biológicos, mas em sistemas sociais e em sistemas artificiais, como as tecnologias, não é possível reduzi-la a equações determinísticas sobre seus elementos constituintes fundamentais. As teorias sobre evolução, desta forma, podem ser ditas como mecanismos de explicação, cujo poder analítico repousa no fato de serem empiricamente vazias no sentido de poderem ser aplicadas independentemente do contexto. As suas aplicações nas ciências sociais mostram-se

¹⁶⁸ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, pp.1408-1489, 1996; KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

capazes de criar uma estrutura de análise sólida a partir da qual se pode analisar a emergência e o desenvolvimento de estruturas e processos sociais em geral.¹⁶⁹

A ideia de representar o processo de evolução por meio de paisagens de adaptação surge com o trabalho de Sewall Wright e seu modelo de campos adaptativos em 1931, resultado da combinação de pesquisas experimentais com o cruzamento de cobaias e conhecimento teórico em matemática. O trabalho de Wright postula uma teoria sobre a deriva genética de pequenas populações combinadas com fatores ambientais em busca de um entendimento sobre a evolução como mudanças cumulativas que poderiam levar a homogeneidade ou heterogeneidade genética dependendo das pressões evolucionárias envolvidas. A deriva genética ocorre quando, em pequenas populações, a seleção de determinados elementos do genótipo ao longo das gerações ocorre, parcialmente, de forma randômica e por eventos imprevisíveis em vez de exclusivamente por seleção natural. A teoria de Wright foi chamada de teoria de equilíbrio mutável.¹⁷⁰

Essa pesquisa levou Wright a publicar seu artigo *Evolution in Mendelian populations*. Nesse estudo, ele utilizou-se de matemática para demonstrar que em pequenas populações certos elementos genotípicos podem mover-se randomicamente até sua fixação total ou sua completa extinção apenas por meio do efeito da separação causada pela deriva genética, mesmo havendo a contraposição das forças da seleção natural e mutações. No seu modelo, a adaptação depende da combinação de elementos genéticos para um genótipo específico e das condições do campo específico onde o conjunto genotípico se encontra. O artigo de Wright tornou-se referência rapidamente e o convite para falar em uma conferência o fez reconsiderar a estrutura pesadamente matemática do seu trabalho e criar representações gráficas em termos de campos de adaptação, publicadas sob o título de "*The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution*" em 1932.¹⁷¹

A ideia de Wright é bastante simples. Considere um conjunto de genes (genótipo) que se encontra ligado a outros conjuntos de genes. Valores são atribuídos para cada

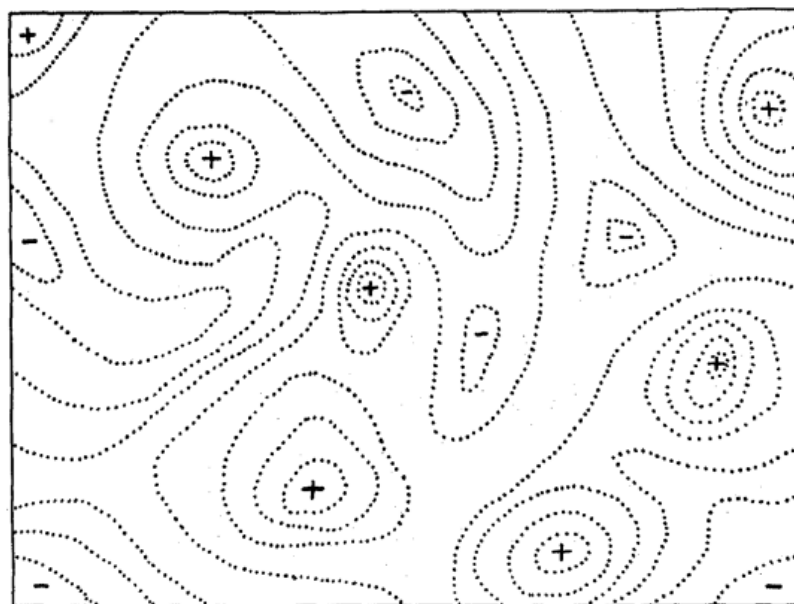
¹⁶⁹ GERRIS, Lasse.; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017, p. 16; KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press, 1995, p. 15; BEINHOCKER, Eric. D. **The origins of wealth**. Boston, Harvard Business School Press, 2006, p. 72.

¹⁷⁰ WRIGHT, Sewall. Evolution in Mendelian populations. **Genetics**, n.16, pp. 97–159, p. 158, 1931; GERRIS, Lasse.; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017, p. XX

¹⁷¹ GERRIS, Lasse.; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017, p. 17; WRIGHT, Sewall. The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution, in **Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics**, pp. 356–366, 1932.

combinações desses conjuntos de genes, sob determinadas condições, permitindo a representação da distribuição desses valores sobre o espaço dos genótipos possíveis como uma superfície bidimensional de combinações genéticas. Desta forma, um determinado local nessa superfície de combinações possui um valor de adaptação associado. Ao adicionar-se um terceiro eixo orientado a representação, correspondente aos valores de adaptação, obtém-se picos que representam altos níveis de adaptação e vales que correspondem a baixos valores de adaptação. Constroem-se assim, o que passou a ser chamado de uma paisagem, com picos em torno dos quais as combinações genéticas se aglomeram devido as pressões da seleção natural. A figura original dos campos de adaptação é reproduzida abaixo.¹⁷²

Figura 5 - Paisagem de adaptação



Fonte: WRIGHT, 1932¹⁷³.

O modelo de Wright tornou-se popular, uma vez que se apresentou útil como forma de testar hipóteses e em tentativas de explicar e prever a evolução biológica. A questão de como traduzir o modelo dos campos de adaptação para as ciências sociais, embora tenha sido esboçada por Wright, acaba sendo formulada em uma teoria geral apenas por meio do trabalho de Stuart Kauffman.¹⁷⁴

¹⁷² GERRIS, Lasse.; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017, p. 17.

¹⁷³ WRIGHT, Sewall. The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution, in **Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics**, pp. 356–366, 358, p. 1932

¹⁷⁴ KIMURA, Motoo. Evolutionary rate at the molecular level, **Nature**, n. 217, pp.624–626, p.620, 1968; GERRIS, Lasse; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**.

O trabalho de Wright não ficou livre de críticas, especialmente no tocante a como os valores de adaptação eram atribuídos, levando em consideração apenas os fatores genotípicos. Kauffman e Levin, tomando em consideração as críticas ao trabalho de Wright, reestruturaram seu modelo e desenvolvem uma teoria geral de caminhadas adaptativas por meio de combinações genéticas mais favoráveis ou adaptas. Na versão de Kauffman e Levin das paisagens adaptativas, a adaptação não é um fator apenas do conjunto de genes, mas depende também do meio onde encontra-se esse conjunto de genes, do seu ambiente ou contexto local.

Cada conjunto de genes encontra-se cercado por outros conjuntos de genes. A caminhada adaptativa é a representação de uma busca pelo ponto de maior aptidão na paisagem e inicia-se a partir de um ponto qualquer, prosseguindo, por meio do conjunto de genes vizinhos mais apto, até uma posição local ou global ótima onde sua adaptação é maior que a dos seus vizinhos.¹⁷⁵

Seguem-se vários artigos de Kauffman com colaboradores, expandindo seu modelo de paisagens de adaptação, mostrando que a adaptação de um conjunto de genes é afetada pela adaptação de outro conjunto de genes de espécies diferentes que estejam acopladas por algum processo de dependência biológica, demonstrando teoricamente, a ocorrência de coevolução entre paisagens de adaptação por meio de caminhadas adaptativas naquelas paisagens.¹⁷⁶

O modelo desenvolvido por Kauffman é proposto na sua obra “*The Origins of Order*” de 1993, como uma forma de explicação para a origem da vida, sua adaptação e evolução, tendo os conceitos de auto-organização e coevolução como os fundamentos da sua argumentação. A auto-organização proposta pelo autor, trata da emergência de estruturas através das interações dos elementos do sistema sem uma direção pré-estabelecida ou controle central. Ou seja, o aparecimento de padrões organizados por meio do fenômeno emergência, visto no capítulo 1, em sistemas complexos adaptativos.¹⁷⁷

Ocorre que durante a formulação da sua teoria, Kauffman utilizou-se do modelo de paisagens de adaptação como um modelo central que não representaria apenas a evolução

Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017, p. 18; KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

¹⁷⁵ KAUFFMAN, Stuart.; LEVIN, Simon. Towards a general theory of adaptive walks on rugged landscapes.

Journal of Theoretical Biology, vol.128, n. 1, pp.11–45, p.11, 1987.

¹⁷⁶ KAUFFMAN, Stuart; WEINBERGER, Edward. The NK model of rugged fitness landscapes and its application to maturation of the immune response. **Journal of Theoretical Biology**, vol.141, pp. 211–245, 1989; KAUFFMAN, Stuart; JOHNSEN, Sonke. Coevolution to the edge of chaos: Coupled fitness landscapes, poised states, and coevolutionary avalanches. **Journal of Theoretical Biology**, vol. 149, n. 4, pp. 467–505, 1991; GERRIS, Lasse; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017, p. 23-24.

¹⁷⁷ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

biológica, mas poderia ser utilizado para representar outros tipos de sistemas, que apresentassem as estruturas fundamentais representadas no modelo original. Assim, suas ideias apresentadas em *The Origins of Order* foram as responsáveis por levar o modelo de paisagens de adaptação para a pesquisa em ciências sociais.¹⁷⁸

Primeiramente, o modelo de Kauffman de paisagens de adaptação será formalizado a fim de permitir um entendimento mais claro. Inicia-se com a primeira apresentação do modelo de paisagens de adaptação como originalmente encontrada na obra de 1993, que será o modelo de paisagens fixas, sendo posteriormente desenvolvido para comportar a dinâmica de coevolução entre organismos ou espécies, que transforma a paisagem de adaptação em uma superfície dinâmica. A principal diferença entre as duas versões do modelo é que a evolução em uma paisagem fixa pode ser vista como uma busca, na paisagem de adaptação, onde os picos representam as posições ótimas. Quando se adiciona a coevolução a adaptação de um elemento depende das características de outros elementos ou espécies com os quais possa interagir.¹⁷⁹

Uma forma de visualizar o processo de adaptação é por meio de pequenas mudanças (mutações) que envolvem uma busca local pela melhor possibilidade (o mais alto pico), dentro do conjunto de configurações possíveis para os elementos daquele organismo, no que se denomina espaço de possibilidades. Embora o processo de busca pela localização mais apta nas posições vizinhas ao elemento inicial pareça simples, ela envolve um complexo processo de otimização combinatória que enfrenta limitações conflitantes advindas da própria dinâmica do sistema. Um dos pontos centrais de Kauffman é que a pressão evolutiva e a ação contínua da seleção natural buscando a melhor combinação de elementos de um genótipo, não agem sozinhas e enfrentam limitações emergentes e muitas vezes conflitantes da complexidade da rede de interações entre os elementos do sistema, seja um organismo, uma espécie ou um ecossistema.¹⁸⁰

Retoma-se o exemplo das paisagens adaptativas, se a mutação e a seleção puderem mover o conjunto de genótipos livremente pela paisagem, ignorando as restrições das estruturas emergentes do sistema, não seria possível ver nos organismos características outras que não as derivadas dessas forças. Entretanto, se a seleção não for capaz de movimentar livremente os conjuntos populacionais para qualquer parte da paisagem, então as propriedades de ordenação espontânea encontradas nas estruturas da paisagem serão possivelmente encontradas nos

¹⁷⁸ GERRITS, Lasse; MARKS, Peter. How fitness landscapes help further the social and behavioral sciences. **Emergence: Complexity and Organization**, vol.16, n.3, pp. 1–17, 2014.

¹⁷⁹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 33.

¹⁸⁰ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 33-34.

elementos da população, mesmo diante de uma constante atuação da seleção. Algumas características encontradas em grande variedade de organismos, argumenta Kauffman, não parecem ser justificáveis apenas pelo mecanismo de seleção natural, indicando a existência de processos de organização espontânea na paisagem de adaptação que acabam sendo refletidos em características dos organismos que a integram.¹⁸¹

A relação entre seleção e adaptação torna-se relevante quando se observa que mesmo diante de constante seleção em busca de uma melhor adaptação as estruturas do sistema onde o organismo encontra-se limitam essa busca. Em alguns casos, mesmo havendo um pico ótimo a ser alcançado na paisagem adaptativa os elementos da população são incapazes de alcançar esse pico em uma escala temporal apropriada; ou, ainda, existem tantos picos de valores medianos que as populações ficam confinadas em partes da paisagem ou torna-se impossível encontrar um valor ótimo para o sistema.¹⁸²

Desta forma, a dinâmica da evolução em uma paisagem adaptativa será a descrição das interações dos elementos da paisagem com as restrições conflitantes da estrutura emergente do próprio sistema. Essas estruturas conflitantes podem ser descritas pelas interdependências do sistema, que impedem que um elemento seja modificado sem considerar-se os efeitos dos outros elementos a ele ligados. Por outro lado, pode-se considerar as forças de seleção e mutação agindo através de escolhas de mudanças randômicas nos seus elementos. A evolução pode ser descrita como um algoritmo de busca que caminha pela paisagem testando combinações de elementos até encontrar a melhor combinação para uma determinada paisagem.¹⁸³

O modelo de paisagens de adaptação de Kauffman ou modelo NK mostra-se apropriado para descrever essa dinâmica evolutiva em qualquer sistema constituído de um determinado número de componentes que interagem entre si e exibam qualquer número de estados individuais. Desta forma, o modelo NK mostra-se um modelo geral para descrever a dinâmica de interações de sistemas complexos¹⁸⁴.

Ao longo das diversas adaptações e aplicações que o modelo NK sofreu, várias nomenclaturas foram adotadas para seus elementos, bem como várias formalizações matemáticas lhe foram dadas. Por simplicidade, adota-se uma terminologia homogênea ao longo deste trabalho, indicando as correspondências com outras nomenclaturas conhecidas.

¹⁸¹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 34

¹⁸² KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 35-36.

¹⁸³ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 33.

¹⁸⁴ KAUFFMAN, Stuart. and MACREADY, William. Technological evolution and adaptive organizations: Ideas from biology may find applications in economics, **Complexity**, vol.1, n.2, 1995, p. 26-43.

Adota-se a nomenclatura de Page (2018) admitindo-se variações apenas quando o sentido do conceito discutido seja intuitivamente melhor descrito pela nomenclatura original, da seguinte forma:

Um sistema pode ser descrito por uma sequência de elementos, essa sequência é o sistema-sequência ¹⁸⁵ (S) consiste de N partes que contribuem para sua funcionalidade. Essa sistema-sequência pode ser o conjunto genotípico de um organismo, o conjunto de subunidades de uma empresa multinacional, o conjunto de elementos de um sistema financeiro, o conjunto de leis de um ordenamento jurídico, o conjunto de bancos de um determinado país, ou um problema construído de várias partes. Sendo assim, vários autores denominam S de agente ou mesmo organismos. Considerando o extenso uso de literatura de biologia evolucionista na teoria do modelo NK os termos agente e organismo serão usados de forma intercambiáveis durante o texto.¹⁸⁶

Os elementos que compõe o sistema ou organismo S podem ser quaisquer unidades que autonomamente possam assumir diferentes estados, ou seja, possam mudar. Por simplicidade, Page utiliza o mínimo informacional conhecido para caracterizar esse elemento e diz que o sistema-sequência é composto por N bits. Sendo o bit definido como o mínimo de informação requerido para escolher entre duas alternativas igualmente prováveis, descrevendo o mínimo de mudança possível. Entretanto, a literatura do modelo NK nomeia esses elementos com a maior variedade possível. Uma vez que eles descrevem estados mutáveis do sistema, eles podem representar qualquer característica ou funcionalidade sujeita a mudança.¹⁸⁷

Os N elementos que formam o sistema-sequência S podem assumir diferentes estados (A) que influenciam sua capacidade funcional. Essa influência que cada elemento pode exercer sobre o sistema é originalmente chamada por Kauffman de adaptação, mas outros autores chamaram de funcionalidade, eficiência, valor ou qualquer outra medida de desempenho funcional. A única variável do modelo NK que permanece com nomenclatura

¹⁸⁵ Optou-se por Sistema-objeto para evitar confusões com os conceitos jurídicos de sistema analisados no capítulo 2, bem como para poder abarcar outros conceitos de sistema

¹⁸⁶ PAGE, Scott. E. **The Model Thinker**: what you need to know to make data work for you. New York: Basic Books, 2018, p. 326; GEISENDORF, Sylvie. Searching NK Fitness Landscapes: On the Trade Off Between Speed and Quality in Complex Problem Solving. **Computational Economics**, vol. 35, n. 4, pp. 395-406, 2010.

¹⁸⁷ STONE, James. **Information Theory**: A tutorial introduction. New York: Setbel Press, 2015, p.05; PAGE, Scott E. **The Model Thinker**: what you need to know to make data work for you. New York: Basic Books, 2018, p. 326; MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, vol. 10, n. 3, pp.294-321, 1999, p. 303; FRENKEN, Koen. **Modelling the organisation of innovative activity using the NK-model**. 2001. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/1c25/7971bf0f708a3fe2ddec9179022c46cdeeb5.pdf>> Acesso em: 18 ago. de 2018.

constante na literatura é K , que representa ligações necessárias entre os elementos do sistema-sequência.¹⁸⁸

Uma vez parametrizados os termos, pode-se definir o modelo NK e suas variáveis em detalhes. Considere um sistema-sequência S , constituído por N bits. Cada um dos N elementos de S pode assumir quaisquer números de estados A . Assim, a combinação desses estados possíveis será dada por A^N . O conjunto de todas as configurações diferentes de S (H_S) constitui o espaço de possibilidades de configurações diferentes ou de microestados de S ¹⁸⁹, conforme a Eq. 5:

$$H_S = A^N \quad (\text{Eq. 5})$$

Embora A possa assumir qualquer valor, Kauffman, utiliza-se de estados binários para A , ou seja, A pode assumir apenas 2 possíveis valores representados por 0 ou 1. A representação binária simplifica todo o modelo e torna natural a representação de qualquer sistema S como uma sequência de bits. Assim, tem-se que:

$$H_S = 2^N \quad (\text{Eq. 6})$$

Considere-se um sistema-sequência S_1 , com $N = 2$, ou seja, composto de dois elementos, que podem apresentar dois estados possíveis, 0 ou 1. O elemento N_1 que controla a característica nariz em um organismo ou determina a existência de regulações sobre a tributação de produtos industrializados em um ordenamento jurídico pode apresentar dois estados: um nariz grande (1) ou pequeno (0) para um organismo ou a presença (1) ou ausência (0) de determinada regulação para um ordenamento jurídico. Do mesmo modo o elemento N_2 que controla a característica cor dos olhos, em um organismo e as regulações de tributação sobre

¹⁸⁸ **The Model Thinker:** what you need to know to make data work for you. New York: Basic Books, 2018, p. 327; MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, vol. 10, n. 3, pp.294-321, 1999, p. 303; FRENKEN, Koen. **Modelling the organisation of innovative activity using the NK-model**. 2001; GEISENDORF, Sylvie. Searching NK Fitness Landscapes: On the Trade Off Between Speed and Quality in Complex Problem Solving. **Computational Economics**, 2010, vol. 35, n. 4, pp. 395-406, 2010.

¹⁸⁹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 40.

serviços podem apresentar os seguintes estados: escuro (1) ou claro (0), para um organismo ou a existência (1) ou ausência (0) de determinada regulação sobre serviços.

O sistema hipotético composto de 2 elementos com dois possíveis estados para suas características teria 2^2 combinações possíveis, ou seja, $H_s = 4$ microestados possíveis, conforme a tabela 3:¹⁹⁰

Tabela 3 – Sistema-sequência N = 2, A = 2

N = 2	A = 2
00	01
10	11

Fonte: O autor, 2018.

Os elementos N, pertencentes aos sistemas S_1 não se combinam livremente, mas as características de um organismo ou sistema são usualmente dependentes de outras características em relação a adaptação que o sistema exibe no seu meio. Assim, talvez olhos claros e nariz pequeno seja uma combinação que exibe baixa adaptabilidade em relação ao ambiente onde o organismo encontra-se inserido ou as demais características estruturais que o compõe; ou determinadas combinações de tributação sobre produtos industrializados e serviços sejam mais vantajosa em determinadas condições estruturais do ambiente social e econômico que em outras. Essas dependências entre os elementos que compõe S_1 são chamadas de acoplamentos epistáticos ou epistasia e ocorrem em uma rede complexa de interações em qualquer sistema complexo adaptativo. As ligações epistáticas entre os elementos de um sistema complexo exigem que se considere a contribuição de adaptação realizada por diferentes elementos em relação aos demais elementos a que estão ligados por esse acoplamento.¹⁹¹

Descrito dessa forma, os dois parâmetros principais do modelo são N e K, que em síntese são o número de bits, elementos ou partes (N) do sistema e a média do número de outras K partes ou elementos que influenciam epistaticamente, por meio de uma contribuição de adaptação, cada outro elemento.¹⁹²

¹⁹⁰ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity.** New York: Oxford University Press. 1995, p. 94.

¹⁹¹ KAUFFMAN, S. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity.** New York: Oxford University Press. 1995, p. 94.

¹⁹² KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity.** New York: Oxford University Press. 1995, p. 94.

Desta forma, têm-se que, um sistema S , constituído de N elementos, cada qual podendo estar em A estados diferentes, pode ser descrito como um vetor $S = (s_0, \dots, s_{n-1})$ com $s_i \in \{0, 1, 2, \dots, A - 1\}$. Dessa forma, cada uma das A^N combinações possíveis de microestados sobre os N elementos é considerado um sistema-sequência (S), tem-se:¹⁹³

$$S \in \{0, 1, 2, \dots, A - 1\}^N \quad (\text{Eq. 7})$$

Ao se considerar $A = 2$, por sua vez:¹⁹⁴

$$S \in \{0, 1\}^N \quad (\text{Eq. 8})$$

A evolução adaptativa se dá por mutações e a ação da seleção natural nos organismos. O processo de seleção natural ocorre com a substituição de um gene por outro que possa conferir uma vantagem adaptativa ao organismo, de forma que se pode falar em contribuição adaptativa de cada gene a adaptação total do organismo. Da mesma forma, cada sistema-sequência S pode ser alterado, minimamente, pela mutação de um único bit da sua sequência. Assim, cada sistema-sequência no espaço de possíveis microestados de S encontra-se na vizinhança de uma mutação (alteração) de todos aqueles outros conjuntos acessíveis por meio da alteração de um único bit. Essa vizinhança é medida pela distância Hamming, que é a diferença entre duas sequências de símbolos do mesmo tamanho, diferentes nas posições dos símbolos entre elas. Assim, a sequência (00000) e a sequência (10000) têm distância de Hamming igual a 1, pois, existe apenas uma posição de diferença entre as sequências.¹⁹⁵

Da mesma forma, no espaço de microestados possíveis $H_S = A^N$, cada sistema-sequência S encontra-se a uma distância de Hamming de outros microestados. Ou mais exatamente, cada sistema S_i é um mutante vizinho de $N(A - 1)$ outros sistemas. O valor $N(A - 1)$ fornece a dimensão do espaço de estados.¹⁹⁶

Cada elemento N possui um valor de adaptação que contribui para a melhor funcionalidade do sistema. Entretanto, uma vez que se considere os acoplamentos epistáticos

¹⁹³ GEISENDORF, Sylvie. Searching NK Fitness Landscapes: On the Trade Off Between Speed and Quality in Complex Problem Solving. **Computacional Economics**, 2010, vol. 35, n. 4, pp. 395-406, 2010.

¹⁹⁴ PAGE, S. E. **The Model Thinker**: what you need to know to make data work for you. New York: Basic Books, 2018, p. 327.

¹⁹⁵ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 40 e 60.

¹⁹⁶ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 41.

em um sistema de N elementos, a contribuição de um ou outro elemento pode depender dos outros $N-1$ elementos restantes. Essa dependência entre os elementos do sistema é expressa pelo parâmetro K , que representa a complexa rede de interações epistáticas entre os genes ou elementos do sistema.¹⁹⁷

A adaptação, no contexto da biologia evolucionista, possui vários componentes que culminam no sucesso reprodutivo, incluindo questões como a densidade e frequência de cada variante genotípica na população e mesmo todo o ecossistema onde o organismo interage. Além disso, deve-se considerar que todos esses fatores dependem da interação com outros organismos na população, tornando-se difícil atribuir valores de adaptação.¹⁹⁸

O desconhecimento de como a rede de interações epistáticas constrói os valores de adaptação para organismos e sistemas, segundo Kauffman, não impede sua modelagem. Uma vez que o modelo NK considera que a contribuição de adaptação do elemento na i -ésima posição i_i depende dele mesmo (ou seja, se seu estado é 0 ou 1) e dos outros $K+1$ elementos (e seus estados 0 ou 1) nas outras posições epistaticamente a ele acopladas, obtém-se 2^{K+1} como o número possível de combinações desses elementos.¹⁹⁹

Feito isso, assinala-se para cada uma das 2^{K+1} combinações possíveis de elementos, contribuições de valores de adaptação randômicas retiradas de uma distribuição uniforme de 0.0 a 1.0. Assim, a contribuição de adaptação do i -ésimo elemento (w_i) é especificada por uma lista de números decimais randômicos entre 0.0 e 1.0 com 2^{K+1} elementos.²⁰⁰

Definida a contribuição de adaptação para cada elemento, pode-se definir a adaptação de um sistema-sequência inteiro como a média das contribuições de adaptação de todos os elementos.

$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i \quad (\text{Eq. 9})$$

A figura 6 abaixo, reproduzida da obra de Kauffman, exemplifica a dinâmica de atribuições de valores de adaptação e apresenta uma das formas de representação gráfica das paisagens de adaptação, um hipercubo booleano. Essa representação, entretanto, torna-se

¹⁹⁷ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 41.

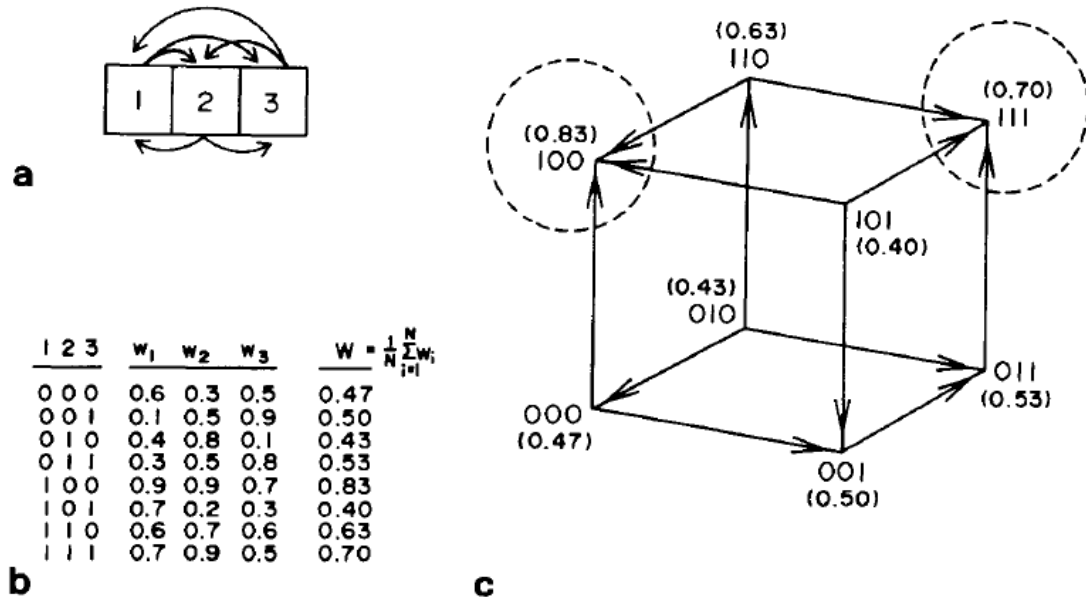
¹⁹⁸ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 37.

¹⁹⁹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42.

²⁰⁰ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42.

confusa para valores de N elevados, uma vez que as dimensões a serem representadas rapidamente extrapolarão a conveniência de observação.²⁰¹

Figura 6 – Paisagem de adaptação como um hipercubo



Fonte: KAUFFMAN, 1993.²⁰²

A Figura 6a representa um sistema-sequência S composto de 3 partes ou bits, $N = 1, 2, 3$. As setas indicam as ligações epistáticas, ou seja, K. Pode-se observar que cada elemento N está ligado a outros 2 elementos, sendo, portanto, $K = 2$. A Figura 6b mostra que cada elemento do sistema S pode encontrar-se em dois estados (A) 0 ou 1. Sendo o sistema composto por 3 partes, ter-se-á 2^3 combinações possíveis, ou seja, $H_s = 8$, nosso espaço de possíveis variações de S ou microestados, como mostra a primeira coluna. Para cada um dos três elementos de S faz-se necessário assinalar uma contribuição de adaptação w_i , que será feito através de uma distribuição randômica de valores reais no intervalo $[0,1]$, como observado na segunda coluna descrita na Figura 2b. Finalmente, será calculado a adaptação de cada configuração do sistema obtido, resultando nos valores de W , presentes na coluna 3 na Figura 6b.²⁰³

Por fim, na Figura 6c tem-se a paisagem de adaptação representada em um cubo booleano tridimensional, onde as arestas do cubo correspondem aos valores dos 8 microestados

²⁰¹ KAUFFMAN, Stuart. *The Origins of Order*. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42.

²⁰² KAUFFMAN, Stuart. *The Origins of Order*. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42

²⁰³ KAUFFMAN, Stuart. *The Origins of Order*. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42

de S possíveis encontrados na Figura 6b. Os círculos pontilhados marcam os pontos ótimos dessa paisagem, ou seja, as configurações ótimas de combinação dos elementos dos genótipos e seus estados possíveis, considerando as limitações conflitantes dadas por K . Observe-se a existência de mais de uma posição ótima. As setas no cubo da Figura 6c indicam as direções da caminhada adaptativa para alcançar os pontos ótimos.²⁰⁴

O segundo mecanismo fundamental do modelo NK é a dinâmica das caminhadas adaptativas. A exploração da paisagem de adaptação é realizada por um algoritmo de caminhada randômica. Refere-se a um processo estatístico que possibilita a exploração de uma rede a partir do vértice inicial e a posterior escolha randômica de arestas para que se explore o próximo vértice e então se escolha randomicamente outra aresta, repetindo-se o processo até o seja explorada todo o espaço de possibilidades.²⁰⁵

No modelo original NK, a caminhada randômica simula o processo adaptativo, sendo chamada de caminhada adaptativa. A mutação e a seleção natural são as duas forças do processo adaptativo. As mutações são representadas na paisagem de adaptação pelas mudanças nos elementos de cada microestado de S_1 no espaço de estados. A seleção do microestado mais adaptado se faz por meio da caminhada adaptativa. Uma caminhada randômica em uma paisagem de adaptação (uma caminhada adaptativa) se inicia em um ponto randômico, que será um microestado S e grava seu valor de adaptação. Em seguida, escolhe randomicamente, um vizinho distante uma distância de Hamming do sistema-sequência S_1 onde se encontra e se a adaptação naquele vizinho for maior se move para o novo sistema-sequência S_2 , caso contrário permanece no mesmo local e inicia outra busca randômica nas vizinhanças até esgotar os microestados vizinhos. Se não puder ser encontrado outro sistema-sequência vizinho por uma mutação com maior valor de adaptação, a caminhada se encerra naquele microestado, como um ótimo local.

Em outra variação, proposta por Kauffman, é possível saltar para posições randômicas quando a caminhada adaptativa se encontra confinada em um ótimo local. Na dinâmica real de populações em ecossistemas observa-se uma mistura de processos semelhantes as caminhadas randômicas por meio de vizinhos de uma mutação e por longos saltos em busca de mutantes distantes.²⁰⁶

²⁰⁴ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42.

²⁰⁵ LAWLER, Gregory. F. **Random Walk: A Modern Introduction**. New York: Cambridge University Press, 2010, p. ix.

²⁰⁶ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 63 e 70; HORDIJK, Wim. Correlation Analysis of Coupled Fitness Landscapes. *Emergence, complexity and Computation*, v. 6, p. 369-393, p. 378, 2014.

Um exemplo dado por Kauffman, fora da genética de populações, sintetiza a maioria dos processos discutidos. Suponha-se que deva ser construído algum tipo de transporte aéreo cuja essencial característica seja sua velocidade e autonomia. Buscando esse objetivo de funcionalidade (seu valor de adaptação) serão necessários tanques de combustível em um tamanho que garanta autonomia e asas fortes para carregar o seu peso e dos motores. Mas, ao mesmo tempo, deve-se favorecer estruturas leves para potencializar a velocidade, levando em consideração, simultaneamente, onde serão fixados os assentos, como será distribuído o sistema hidráulico e elétrico de forma que um mal funcionamento em uma parte não incorra em avaria em outra e assim por diante.

Ou seja, a alocação e característica dos N elementos da aeronave devem ser considerados em relação ao valor de adaptação total buscado pelo sistema. Entretanto, as limitações estruturais do sistema, derivadas de acoplamentos necessários entre os elementos, criam restrições conflitantes: a necessidade de velocidade limita o peso total da aeronave, mas a necessidade de autonomia exige reservas maiores de combustível.

Essas limitações conflitantes impedem a seleção do melhor material, da melhor forma ou posição para cada elemento da aeronave sem que se considere as restrições impostas pelas outras partes e pela estrutura global do projeto. Os acoplamentos epistáticos impedem que cada elemento possa ser considerado de forma completamente independente. O impacto das K interações necessárias entre os elementos do sistema devem ser consideradas para o cálculo do valor da adaptação total. Eventualmente, por meio de um processo de tentativa e erro de escolhas (seleção natural) de novos materiais e processos e a alteração e criação de novas tecnologias (mutação), pode ser possível modificar partes do sistema originalmente projetado e conseguir maior velocidade e autonomia, com maior eficiência, deixando o projeto mais adaptado a cumprir sua função.²⁰⁷

Ao longo da obra *Origins of Order*, Kauffman explora as possibilidades do modelo NK e observa várias propriedades criando elementos de uma teoria de paisagens de adaptação utilizável em diversos fenômenos. Uma das observações mais importantes é a robustez dos parâmetros N e K . Mesmo sendo possível imaginar variações em outros elementos, o modelo mostra sensibilidade apenas aos seus dois parâmetros fundamentais. Mesmo sendo possível utilizar uma distribuição gaussiana, a qual iria concentrar os valores de adaptação próximos de 0.5 ou uma distribuição de U que iria expandir as concentrações para os extremos, Kauffman

²⁰⁷ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity.** New York: Oxford University Press. 1995, p. 99.

encontrou que as propriedades exibidas nos resultados das paisagens de adaptação mostram-se constantes, sendo sensibilizadas apenas por alterações de N e K , gerando uma tipologia de paisagens de adaptação, das quais as mais significativas encontram-se em extremos do modelo.²⁰⁸

Uma vez definida a estrutura do modelo NK , é possível derivar uma completa tipologia por meio da análise das variações em relação aos valores de K . Assim, nos casos extremos obtêm-se $K = 0$ e $K = N-1$. Os testes realizados por Kauffman com variações de todos os parâmetros do modelo, como a forma de cálculo da distribuição randômica de valores para a contribuição de adaptação, mostraram que o modelo é sensível apenas as variações de N e K , permanecendo invariante em relação as demais.²⁰⁹

O primeiro tipo limite de paisagem ocorre quando $K=0$, ou seja, inexistem relações epistáticas entre os elementos que compõe cada conjunto. Neste caso haverá apenas um pico ótimo, todos os outros pontos da paisagem serão sub-ótimos e terão acesso ao único pico ótimo do sistema por meio de caminhadas adaptativas nos seus vizinhos um elemento mutante. Esse caso de paisagem de adaptação é chamado de paisagem completamente relacionada, pois, cada configuração de S possui um valor de adaptação muito próximo do outro. Desta forma, informações sobre um determinado microestado contém grande parte das informações sobre o próximo. Em termos de visualização gráfica trata-se de uma paisagem plana, ou com pequenas ondulações, e um enorme pico sendo o ponto mais elevado da paisagem.²¹⁰

O segundo tipo limite de paisagem de adaptação ocorre quando $K = N - 1$, ou seja, todos os elementos que compõe o sistema-sequência estão epistaticamente ligados uns aos outros. Nesse caso a paisagem é completamente não relacionada, o que significa dizer que os valores de adaptação são tão diversos que conhecer o valor de adaptação para um microestado da paisagem não diz nada sobre o ponto adjacente. A paisagem que se obtém é completamente tomada por picos de altura mediana, inexistindo qualquer ótimo global no sistema. Esse tipo de paisagem de adaptação exibe características que fazem com que o caminhar adaptativo se torne cada vez mais longo e ineficiente, e em muitos casos, impedindo que vários genótipos atinjam qualquer ótimo local.²¹¹

²⁰⁸ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 44.

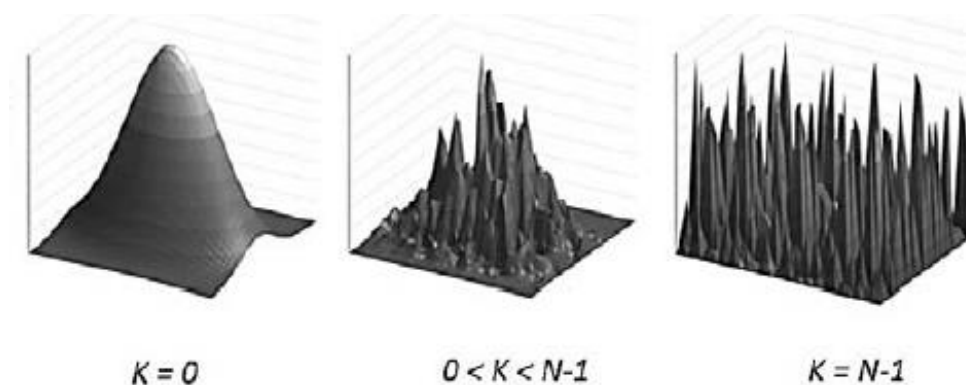
²⁰⁹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 57.

²¹⁰ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 45.

²¹¹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 45-46; KAUFFMAN, Stuart.; LEVIN, Simon. Towards a general theory of adaptative walks on rugged landscapes. **Theoretical Biology**, vol. 128, n. II, 1987;

Esses casos mostram os limites da seleção adaptativa em sistemas complexos e serão chamados de catástrofes da complexidade, pois, mostram os limites onde um sistema complexo pode funcionar adequadamente.

Figura 7 – Tipos mais comuns de paisagens de adaptação



Fonte: ALSTON e MUELLER, 2015 ²¹²

Quando $K = 0$ inexistem interações epistáticas entre os N elementos de S , ou seja, o cálculo de adaptação para qualquer N elemento não precisa considerar qualquer outro elemento do sistema. Aparentemente, a paisagem com $K = 0$ parece a mais favorável, já que possui um único pico ótimo alcançável por meio de uma curta caminhada adaptativa que aconteceria partindo do microestado S_a para outro microestado S_b , vizinho a uma distância de Hamming, ou seja, que tenha apenas um elemento mutante ou diferente do microestado anterior. Entretanto, essa espécie de paisagem exemplifica um dos extremos em sistemas complexos, e é o cenário de uma catástrofe de complexidade. O ótimo global de uma paisagem com $K = 0$ deve ser formado pelos elementos favoráveis de cada posição dos N elementos de um sistema S , quando esses elementos se encontram completamente relacionados o seu estado ótimo pode ser melhorado por uma mutação para sua forma mais favorável em qualquer N elemento e cada elemento contribui de forma aditiva e independente para a adaptação geral do sistema.²¹³

Entretanto, quando se considera a dinâmica de um sistema complexo adaptativo e as forças de seleção e mutação, observa-se que quando N aumenta, ou seja, quando o sistema ganha novos elementos e assim novas possibilidades de estados (cada elemento possui ao menos um estado binário, 0 ou 1), mantendo-se $K = 0$, a contribuição proporcional de cada elemento N em relação a adaptação do sistema total diminui à medida que N aumenta. Nesse

²¹² ALSTON, Lee; MUELLER, Bernardo. Towards a More Evolutionary Theory of Property Rights. **Iowa Law Review**, vol. 100, n.6, pp. 2255-2273.

²¹³ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 97.

cenário, a pressão da mutação se torna maior que a força da seleção, causando um acúmulo de elementos em estados menos favoráveis.²¹⁴

Os resultados de Kauffman mostram que abaixo de um mínimo crítico de complexidade as forças de seleção são mais fortes que as forças de mutação e a seleção pode manter ou levar os agentes da caminhada adaptativa para qualquer outro ponto sub-ótimo. Acima de um valor crítico de complexidade, a pressão de mutação torna-se mais forte que as forças de seleção e a população de agentes, realizando o caminhar adaptativo, é dispersa para longe do ótimo global. Nesse caso a população cai do pico global ótimo da paisagem de adaptação e permanece em um estado estacionário. O sistema entra em um estado de estagnação.²¹⁵

No outro extremo encontram-se as paisagens onde $K = N - 1$. Nesse caso, a rugosidade da paisagem encontra-se no seu máximo, a paisagem de adaptação é totalmente não relacionada. Conhecer o valor de adaptação de um ponto, não traz informações sobre o valor de adaptação dos seus pontos vizinhos. Cada elemento N_i de um sistema S será afetado pela mudança de qualquer elemento N . No limite de $K = N - 1$, o vetor w_i para cada elemento torna-se uma função de todos os $N - 1$ elementos, alcançando o máximo de limitações conflitantes no sistema, devido ao máximo de acoplamentos epistáticos, e os ótimos locais apresentam os menores valores em relação a qualquer outro valor de K . Esse cenário leva a uma paisagem de adaptação completamente randômica e conduz o sistema para um regime caótico, levando a outra catástrofe da complexidade. Nessas paisagens qualquer variante agente na paisagem de adaptação poderia chegar a uma pequena fração de ótimos locais, porém, apenas uma pequena fração da população de agentes chegaria a algum ótimo local. Isso ocorre porque à medida que o número de elementos N aumenta, os valores de adaptação dos ótimos locais caem em direção a média de adaptação do espaço de possibilidades de configurações H_s .²¹⁶

Essa queda no valor dos ótimos locais e sua multiplicidade explica-se com o aumento de N , que no cenário de $K = N - 1$ causa um aumento rápido de ótimos locais. O aumento rápido de ótimos locais faz com que as caminhadas adaptativas fiquem curtas e presas em soluções cada vez mais pobres a medida que N aumenta. Essa característica, argumenta Kauffman, descreve uma limitação fundamental da evolução adaptativa em relação ao crescimento de um sistema complexo. As limitações conflitantes crescentes implicam que a otimização do sistema será cada vez pior, com uma crescente quantidade de picos com valores

²¹⁴ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 97.

²¹⁵ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 98.

²¹⁶ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 46-47 e 52.

cada vez mais baixos de adaptação. Não importa quão forte seja a pressão de seleção, o processo adaptativo não pode alcançar picos mais elevados de adaptação que aqueles existentes na paisagem de adaptação. Em outras palavras, essa limitação não pode ser vencida por uma seleção mais forte.²¹⁷

Nesse cenário a paisagem de adaptação terá um número de estados ótimos iguais a²¹⁸:

$$\frac{2^N}{(N + 1)} \quad (\text{Eq. 10})$$

Uma forma de contornar a catástrofe da complexidade, segundo Kauffman, é manter o número de interações epistáticas reduzido enquanto aumenta-se o valor de N, de forma que a obter-se sistemas complexos com muitos elementos e com poucas interações epistáticas, mas constantemente aperfeiçoáveis pela seleção e mutação.²¹⁹

A importância dos extremos do espectro das paisagens de adaptação NK é resumida por MacKelvey, ao destacar que em face de um processo de seleção enfraquecido uma ordem espontânea, resultante da interação das características dos próprios sistemas-sequência, pode surgir. Dessa forma, muito da ordem encontrada nos organismos e sistemas complexos não reflete o sucesso do processo de seleção natural, mas seu fracasso.²²⁰

No caso onde a força de seleção é incapaz de manter a população no topo dos picos de adaptação ótima, a ordem que pode ser encontrada em sistemas próximos ao limite $K = 0$ será devida a estrutura emergente como resultado da maioria das propriedades dos agentes da população espalhados pelo vale da paisagem de adaptação. Nesse caso, o sistema complexo adaptativo apresenta ordem não em função da seleção natural, mas a despeito dela.²²¹

No outro extremo, considerando que os picos se multiplicam rapidamente se tornando cada vez menos diferentes da média de toda a paisagem de adaptação, os agentes inevitavelmente ficam presos em sub-ótimos locais. Assim, mesmo diante de uma força de

²¹⁷ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 53-54.

²¹⁸ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 69.

²¹⁹ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 69.

²²⁰ MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, vol. 10, n. 3, pp.294-321, 1999, p. 302; KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 29-30.

²²¹ MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, vol. 10, n. 3, pp.294-321, 1999, p. 302; KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 35.

seleção poderosa, as características exibidas pelos agentes ou sistemas, melhores adaptados, em sistemas próximos ao limite $K = N - 1$, pouco diferem do resto da população. Essas duas catástrofes da complexidade marcam limites ao crescimento da complexidade em qualquer sistema complexo. O processo evolutivo, visto dessa forma, acontece entre os extremos das catástrofes da complexidade. Se o sistema ultrapassa o extremo de crescimento sem suficientes ligações epistáticas, o processo de seleção torna-se ineficiente e o sistema entra em estagnação. Se ultrapassa o extremo de excessivas interações epistáticas chega-se ao caos e a ordem desaparece.²²²

Por fim, a descrição da versão inicial do modelo NK não considera que organismos evoluem conjuntamente, ou seja, que a evolução de um organismo ou sistema impacta a de outro, logo, que os organismos e sistemas coevoluem. De fato, sistemas complexos adaptativos possuem uma dinâmica de coevolução onde cada sistema que se adapta entre os extremos das catástrofes da complexidade está ligado a outros sistemas que evoluem conjuntamente e formam um ecossistema na fronteira do caos. Em termos de paisagens de adaptação, deve-se imaginar a coevolução como um processo onde as paisagens de adaptação de diferentes espécies encontram-se acopladas e influenciam-se mutuamente. Ou seja, a dinâmica da adaptação de um organismo altera tanto a paisagem de adaptação quanto a adaptação do outro organismo em outra paisagem de adaptação.²²³

É possível adicionar o elemento de coevolução ao modelo NK ao se imaginar um ecossistema com S espécies, cada espécie representada por uma paisagem de adaptação NK que descreve a dinâmica evolutiva daquela espécie. Em um sistema coevolucionário é necessário representar o fato de que a adaptação de cada espécie é uma função tanto da adaptação e da paisagem de adaptação da própria espécie quanto da outra. Desta forma o caminhar adaptativo de uma espécie projeta seus reflexos na paisagem de adaptação da outra, alterando-a.²²⁴

Em termos do modelo NK, considera-se que cada característica do organismo S_1 depende epistaticamente de K outras características internas ao organismo S_1 e outras C características do organismo S_2 . De forma geral, em um ecossistema com S espécies, cada característica da n -ésima espécie depende de K outras conexões epistêmicas internas e C outras

²²² MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, vol. 10, n. 3, pp.294-321, 1999, p. 302.

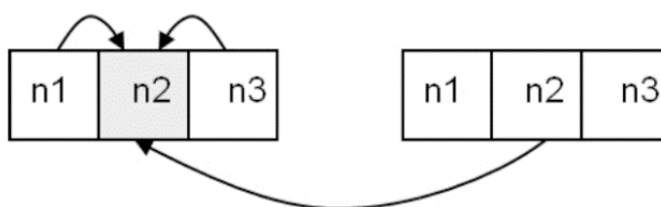
²²³ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 238-242.

²²⁴ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 243.

conexões entre cada uma das outras S_i espécies que ela interagir. Assume-se neste modelo uma relação simétrica. Se a espécie S_1 influencia a espécie S_2 , a espécie S_2 influencia a espécie S_1 .²²⁵

Para expandir o modelo NK original com essas características, deve-se apenas expandir as tabelas de adaptação que definem a paisagem de adaptação da espécie S_2 para incorporar os efeitos dos C elementos da espécie S_1 que estão acoplados a ela. Assim, para cada N elementos da espécie S_2 o modelo gera valor de adaptação randômico entre 0.0 e 1.0 para cada combinação de K elementos internos a espécie S_2 junto com todas as combinações dos C elementos acoplados da espécie S_1 . Ajustado desta forma, a medida que a espécie S_1 se adapta, ela deforma a paisagem de adaptação da espécie S_2 e altera o valor de adaptação da própria espécie, conforme apresentado na figura 8.²²⁶

Figura 8 – Sistemas coevolutivos



Fonte: VIDGEN e PADGET, 2009.²²⁷

Em geral, o processo coevolucionário admite dois comportamentos. Os integrantes se mantêm movendo-se indefinidamente através das deformações mútuas das paisagens de adaptação, ou, alcançam um estado estável onde o ótimo local de cada integrante é consistente com o ótimo local de todos os outros integrantes por meio dos acoplamentos de C. Esse estado estável, numericamente encontrado por Kauffman, em simulações com paisagens de adaptação coevolucionárias, é análogo ao equilíbrio de Nash. No equilíbrio de Nash, cada agente encontra-se em uma posição ótima em relação aos demais, de tal forma, que qualquer outro estado diferente daquele em que se encontra seria sub-ótimo.²²⁸

Quando Ruhl adverte para a construção de sistemas sociojurídicos entre os extremos da catástrofe e do caos ou sugere a aplicação de princípios de evolução a sua dinâmica, não é possível enxergar as implicações das suas afirmações sem uma exploração mais detalhada

²²⁵ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 244.

²²⁶ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 245.

²²⁷ VIDGEN, Richard; PADGET, Julian. Sendero: An Extended, Agent-Based Implementation of Kauffman's NKCS Model. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, vol.12, n. 4, 2009. Disponível em: <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/8.html>> Acesso em 27 set. de 2018.

²²⁸ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 245; MATSUMOTO, Akio; SZIDAROVSKY, Ferenc. **Game Theory and Its Applications**. Tokyo: Springer, 2016, p. 08.

do que constituem essas catástrofes da complexidade e o que é o limite à beira do caos onde os sistemas complexos prosperam. O modelo NK permite explorar esses conceitos de forma precisa e construir simulações adequadas as especificidades de sistemas reais.²²⁹

O processo evolutivo, quando visto como um mecanismo duplo de mutação e seleção por meio de um caminhar adaptativo, ao invés de um conceito genérico de seleção do mais apto, pode ser mais facilmente descrito em sistemas sociojurídicos como, por exemplo, as modificações nas interpretações das normas jurídicas (mutações) e a seletividade (seleção natural) do sistema jurídico ao criar e retirar normas. Buscar manter qualquer sistema sociojurídico na fronteira do caos onde sua adaptabilidade será maximizada, torna-se uma tarefa menos abstrata quando se observa que isso significa encontrar uma proporção adequada entre as ligações epistáticas do sistema sociojurídico e o número dos seus elementos constituintes.

O objetivo de implementações desse modelo é exatamente tornar conceitos teóricos abstratos em proposições claras que possam ser testadas em face de dados empíricos.

3.2 APLICAÇÕES DO MODELO NK

Modelos são usualmente criados para completar as lacunas entre teoria, dados e conclusões. Entretanto, modelos são simplificações da realidade modelada, especialmente em sistemas complexos.²³⁰

Por outro lado, a criação de modelos força a clarificação e precisão de conceitos, a utilização de metodologias bem definidas que podem ser alvo de escrutínio objetivo e recriação por parte de outros pesquisadores que podem desenvolver ou invalidar o modelo proposto. De toda sorte, o processo de modelagem e o estudo do modelo realizado promove a discussão, refinamento e cristalização de conceitos que de outra forma permaneceriam vagos ou com múltiplas definições.²³¹

²²⁹ RUHL, JOHN B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, vol. 45, n. 5, pp.849-926, p. 857 e 868, 1996.

²³⁰ GERRITS, Lasse. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 64; BYRNE, David S. **Interpreting Quantitative Data**. London: Sage Publications, 2002, p. 131-132; CILLIERS, Paul. **Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems**, Abingdon: Routledge, 1998, p. 13-18.

²³¹ GERRITS, Lasse.; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 65.

Nas ciências sociais, os modelos de paisagens de adaptação e especificamente o modelo NK foi utilizado de várias formas, que podem ser divididas nas seguintes abordagens: i) paisagens de adaptação como metáforas, ii) como forma de fazer-sentido, iii) teorização e iv) modelação e simulação. Enquanto metáforas, paisagens de adaptação tem sido usada desde o seu surgimento em 1932, exatamente porque o seu criador as utilizou como uma metáfora, buscando explicar vários aspectos da sua teoria de equilíbrio dinâmico sem a necessidade de explicação profunda da matemática que a fundamentava. A função das metáforas em modelos científicos encontra-se em construir meios de transferência de elementos entre teorias e não no seu poder de explicação causal.²³²

Normalmente, encontram-se como exemplos, as narrativas de como agentes (representando qualquer tipo de elemento) escalam picos ou ficam presos em vales buscando alcançar situações ótimas e escapar da estagnação de cenários sub-ótimos. Esse uso é bem conhecido nos trabalhos de Geyer e Pickering (2011) sobre relações internacionais e Klijn (2008) e Pascale (1999) sobre administração pública. As metáforas com a dinâmica de agentes em uma paisagem de possíveis cenários e configurações pode ser intuitivamente compreendida sem a necessidade de nenhum conhecimento prévio em matemática. Entretanto, a descrição acessível das metáforas é acompanhada pela inexistência dos conceitos em relação com o objeto que é representado. As definições de adaptação e da dinâmica dos elementos é vago e não permite qualquer aferição quantitativa em relação a dados reais.²³³

Quando utilizadas como modos de fazer-sentido sobre elementos da realidade social o uso das paisagens de adaptação difere do seu uso como metáfora pois aqui não se toma toda a narrativa das paisagens de adaptação, mas empresta-se a linguagem da teoria das paisagens de adaptação para descrever determinado fenômeno social de forma mais sintética. Exemplos desse uso pode ser encontrados em Samoilenko para ilustrar como gestores podem lidar com conflitos entre suas organizações e o meio econômico e social onde estão inseridos ou como firmas buscam melhores estratégias em Beinhocker, Girard e Stark ou ainda no

²³² GERRITS, Lasse. MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 31; CHETTIPARAMB, Angeli. Metaphors in complexity theory and planning, **Planning Theory**, n.5, vol.1, pp. 71–91, 2006; LAKOFF, George.; JOHNSON, Mark. **Metaphors We Live By**. Chicago: Chicago University Press, 2003.

²³³ GEYER, Robert; PICKERING, Steve. Applying the tools of complexity to the international realm: From fitness landscapes to complexity cascades, **Cambridge Review of International Affairs**, vol. 24, n. 1, p. 5–26, 2011; KLIJN, Erik. H. Complexity theory and public administration: What's new? **Public Management Review**, n. 10, vol. 3, p. 299–317, 2008; PASCALE, Richard T. **Surfing the edge of chaos**. Disponível em: <<http://sloanreview.mit.edu/article/surfing-the-edge-of-chaos/>> Acesso em 21 nov. de 2018; GERRITS, Lasse. MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 31.

trabalho de Urry que usa a linguagem das paisagens de adaptação para descrever as possíveis direções das diferentes vertentes da teoria sociológica. De forma semelhante as metáforas, o processo de fazer-sentido não se preocupa com a exatidão de métodos e dados empíricos, mas se concentra na narrativa de casos e circunstâncias ricas em detalhes, mas que ao mesmo tempo não possuem definições claras e correlações rigorosamente estabelecidas. O objetivo de usar o conceito de paisagens de adaptação como método de fazer-sentido sobre outros fenômenos sociais é permitir a apreciação do fenômeno por meio de uma abordagem alternativa que sublinhe características que permanecem invisíveis ou pouco claras em outras formas de descrição. Assim, Babcock examina o argumento de Ruhl sobre como paisagens de adaptação podem explicar de que forma as mudanças na sociedade são reciprocamente ligadas a mudanças no Direito.²³⁴

Outra forma de utilização das paisagens de adaptação encontrada em vários autores é a teorização. Nesse caso as paisagens de adaptação são consideradas como um campo teórico completo e utilizável como construção teórica aplicável a qualquer sistema que apresente características semelhantes. Como exemplos, tem-se o trabalho de Dervitsiotis sobre a sobrevivência em ambientes competitivos, o planejamento de trabalho entre e no interior de organizações de Sinha e Van der Ven, ou Whitt, que pesquisa formas de gestão adaptativa em mercados financeiros voláteis. Um dos mais extensos e elaborados trabalhos em teorização de paisagens adaptativas em ciências sociais é a obra de Ruhl sobre o Direito onde a dinâmica entre sociedade e Direito é tratada como um processo de coevolução adaptativa, argumentando que um estado de completo equilíbrio e estabilidade em sistemas legais é impossível. A teoria de Ruhl não faz uso de dados empíricos ou modelagens formais, mas sua extensão e profundidade ultrapassa os processos de metáfora e de fazer-sentido. Na abordagem de teorização pretende-se uma transferência entre a teoria das paisagens adaptativas e a área que deve ser interpretada por meio dos seus conceitos. A teorização é menos formal que a simulação e a modelagem, mas, é mais precisa que a metáfora e o processo de fazer-sentido. O trabalho

²³⁴ GERRITS, Lasse. MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 33; SAMOILENKO, Sergey. Fitness landscapes of complex systems: Insights and implications on managing a conflict environment of organizations, **Emergence: Complexity and Organization**, vol.10, n. 4, pp. 38–45, 2008; BEINHOCKER, Eric. Robust adaptive strategies, **MIT Sloan Management Review**, vol. 40, n. 3, pp. 95–106, 1999; GIRARD, Monique; STARK, David. Heterarchies of value in Manhattan based new media firms. **Theory, Culture and Society**, vol. 20, n. 3, pp. 77–105, 2003; URRY, John. Climate change, travel and complex futures. **British Journal of Sociology**, vol. 59, n. 2, p. 261–279, 2008; BABCOCK, Hope M. Democracy's Discontent in a complex world: Can avalanches, sandpiles, and finches optimize Michael Sandel's civic republican community? **Georgetown Law Journal**, vol. 85, pp. 2085–2103, 1996; RUHL, John B. The fitness of law: Using complexity theory to describe the evolution of law and society and its practical meaning for democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, pp. 1407–147, 1996a.

de Ruhl sobre a coevolução do Direito e da sociedade é profundo e sua descrição de vários conceitos chaves para o modelo são criteriosos, criando elementos fundamentais de uma teoria de complexidade jurídica, embora ainda sem modelos formais ou simulações.²³⁵

Por fim, pode-se usar a teoria das paisagens adaptativas para a construção de modelos matemáticos formais e simulações computacionais. A modelagem e a simulação abordam aspectos completamente diferentes das outras formas de aplicação da teoria das paisagens de adaptação. Enquanto as outras formas de aplicação se aproveitam de vantagens visuais ou de narrativas intuitivas para estabelecer correspondências entre as paisagens de adaptação e o fenômeno social que se busca estudar, as simulações e modelos formais são construídas utilizando-se das relações matemáticas que fundamentam a teoria das paisagens de adaptação e, portanto, são menos intuitivas ao leitor não habituado.

Neste trabalho, abandona-se as narrativas genéricas sobre picos e vales de adaptação e utiliza-se o modelo NK, que não está restrito aos limites de uma descrição tridimensional das paisagens de adaptação necessária a uma fácil compreensão em narrativas e metáforas. Os processos de modelagem e simulação utilizam-se de precisas definições sobre elementos, formas de ligações entre os mesmos, adaptação e o número de dimensões do sistema. Simulações são desenvolvimentos posteriores a definição dos modelos. Primeiramente, estabelece-se com clareza o modelo e depois implementa-se o modelo por meio de numerosas repetições das simulações, sendo seus resultados passíveis de avaliação estatística de erros, fornecendo um parâmetro quantitativo ausente em todas as outras formas anteriores de aplicação das paisagens de adaptação em sistema sociais.²³⁶

Exemplos desse tipo de implantação pode ser encontrados em trabalhos de administração de empresas que analisam a otimização de planejamento no posicionamento

²³⁵ DERVITSIOTIS, Kostas N. Navigating in turbulent environmental conditions for sustainable business excellence. **Total Quality Management and Business Excellence**, vol. 15, n. 5–6, pp. 807–827, 2004; DERVITSIOTIS, Kostas N. On becoming adaptive: The new imperative for survival and success in the 21st century. **Total Quality Management and Business Excellence**, vol. 18, n. 1–2, pp. 21–38, 2007; SINHA, Kingshuk K.; VAN DE VEN, Andrew H. Designing Work Within and Between Organizations. **Organization Science** vol. 16, n. 4, pp. 389–408, 2005; WHITT, Richard S. Adaptive policymaking: Evolving and applying emergent solutions for U.S. communications policy. **Federal Communications Law Journal**, vol. 61, n. 3, pp. 483–589, 2009; RUHL, John B. The fitness of law: Using complexity theory to describe the evolution of law and society and its practical meaning for democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, pp. 1407–1471, 1996a; RUHL, John B. Complexity theory as a paradigm for the dynamical law-and-society system: A wake-up call for legal reductionism and the modern administrative state. **Duke Law Journal**, vol. 45, n. 5, p. 849–928, 1996b. RUHL, John B. (1997), Thinking of environmental law as a complex adaptive system: How to clean up the environment by making a mess of environmental law. **Houston Law Review**, vol. 34, n. 4, pp. 933–1002, 1997; RUHL, John B. Sustainable development: A five-dimensional algorithm for environmental law. **Stanford Environmental Law Journal**, vol. 18, n. 1, pp. 31–64, 1999.

²³⁶ GERRITS, Lasse. MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 34.

estratégico como o realizado por Chang, Harrington, Garrido, Rivkin, Siggelkow e Levinthal; sobre a relação entre descoberta e exploração nos trabalhos de Bocanet e Ponsiglione, Knudsen, Stieglitz, Lee e Van den Steen. O trabalho de modelagem e simulação precisam que as propriedades das paisagens adaptativas sejam definidas de forma precisa, deixando de lado as ambiguidades e generalizações dos processos metafóricos e de fazer-sentido, permitindo uma melhor compreensão das relações entre os elementos da paisagem de adaptação e sobre o fenômeno que se está simulando. Entretanto, existem poucos casos onde as simulações e modelagens de paisagens de adaptação buscaram validação frente aos dados reais. Usualmente, em ciências sociais, o modelo NK é adaptado ao caso em estudo e suas simulações são realizadas isoladamente, sem a utilização de dados reais para sua validação.²³⁷

Na seção 3.3, analisar-se-á alguns trabalhos que utilizam o modelo NK diretamente para o estudo jurídico, tornando-se possível perceber que, mesmo quando os modelos são consistentemente formulados, não há uma transposição desses modelos com dados empíricos. Explica-se essa lacuna pela dificuldade em realizar a escolha precisa dos dados sociais que devem ser formalizados matematicamente; essa dificuldade será apresentada no capítulo 4 quando se buscar adequar o modelo NK ao sistema tributário brasileiro.

Enquanto é possível realizar modelos e simulações de todo um sistema utilizando-se de generalizações dos seus elementos constituintes, essa facilidade desaparece quando se utiliza dados empíricos. A amplitude de possibilidades de escolha dos elementos e suas ligações e o volume de dados tornam a implementação de modelos de sistemas sociais e sociojurídicos rara.

²³⁷ GERRITS, Lasse. MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017, p. 35; CHANG, Myong.-Hun.; HARRINGTON, Joseph E. Centralization vs. decentralization in a multi-unit organization: A computational model of a retail chain as a multi-agent adaptive system. **Management Science**, vol. 46, n. 11, pp. 1427–1440, 2000; GARRIDO, Nicolas. The desirable organizational structure for evolutionary firms in static landscapes. **Metroeconomica**, vol. 55, n. 2–3, pp. 318–331, 2004; RIVKIN, Jan W.; SIGGELKOW, Nicolaj. Organizational sticking points on NK landscapes. **Complexity**, vol. 7, n. 5, pp. 31–43, 2004; SIGGELKOW, Nicolaj.; LEVINTHAL, Daniel. Temporarily divide to conquer. **Organization Science**, vol. 14, n. 6, pp. 650–669, 2003; BOCANET, Anca.; PONSIGLIONE, Cristina. Balancing exploration and exploitation in complex environments. **VINE**, vol. 42, n. 1, pp. 15–35, 2012; KNUDSEN, Thorbjorn; STIEGLITZ, Nils. **Taming the Antagonistic Forces of Exploration and Exploitation**. 2007, Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=996798> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.996798>> Acesso em: 21 nov. de 2018; LEE, Deishin.; VAN DEN STEEN, Eric. Managing know-how. **Management Science**, vol. 56, n. 2, pp. 270–285, 2010.

3.3 IMPLEMENTAÇÕES DO MODELO NK

Antes de se analisar as implementações do modelo NK, deve-se esclarecer que tipo de problema se está resolvendo com sua implementação. Observou-se que o modelo NK trata de responder qual seria a melhor configuração de um sistema S dentro de um espaço de microestados desse sistema no qual sua adaptação seja maximizada. Ou seja, procura-se responder a um problema de otimização de decisões em relação ao processo adaptativo. A teoria de computação descreve a estruturação dos processos de resolução de problemas em duas classes: aqueles em que existe maior dificuldade em encontrar a solução, mas facilmente verifica-se a exatidão dessa solução; e aqueles para os quais é possível encontrar uma solução rapidamente, mas dificilmente será possível verificar se ela é válida. Estuda-se essa problemática em uma área denominada complexidade computacional, em especial, sob a denominação de problema P versus NP. A importância desse estudo reside em verificar quais problemas podem ser computacionalmente resolvidos e aqueles que não podem ser resolvidos em um intervalo de tempo aceitável.²³⁸

Diz-se que os problemas cujas soluções podem ser encontradas rapidamente, mas não podem ser eficientemente verificadas, são problemas da classe P. De outro lado, a classe de problemas cujas soluções podem ser eficientemente verificadas, mas não podem ser encontradas rapidamente, são problemas NP. Idealmente, $P=NP$, ou seja, cada problema em NP possui uma solução rapidamente encontrada e para cada problema que se obtém uma solução essa pode ser verificada eficientemente. Entretanto, se existe um único problema em NP onde nenhum algoritmo pode encontrar uma solução rápida, então $P \neq NP$. Determinar se $P = NP$ é uma das questões fundamentais da ciência da computação e da matemática. Pois, $P \neq NP$ significa que existem problemas insolúveis no sentido de que é impossível resolvê-los eficientemente. Por eficiência, entende-se a possibilidade de resolução do problema em um intervalo de tempo aceitável.²³⁹

A dimensão desse intervalo de tempo aceitável pode ser adequadamente mensurada quando se avança dentro da classe de problemas NP. Entre os problemas NP, existem aqueles chamados de NP-Completo, que apresentam soluções não facilmente encontráveis e exigem

²³⁸ GOLDBREICH, Oded. **P, NP e NP-Completeness**: The basics of computational complexity. New York: Cambridge University Press, 2010, p. 49-50.

²³⁹ FORTNOW, Lance. **The Golden Ticket**: P, NP, and the search for the impossible. Princeton: Princeton University Press, 2013, p. 46.

completude lógica na sua resolução. São mais difíceis de serem resolvidos que os problemas NP.

Um exemplo clássico de um problema NP-Completo é o problema do vendedor ambulante, que ilustra a ideia de intervalo de tempo realístico ou aceitável para se encontrar a solução de um problema por meio de um algoritmo.²⁴⁰ Suponha que um vendedor ambulante precisa viajar para todas as 48 capitais dos estados norte-americanos para realizar suas vendas e, em um esforço de otimização, precisa calcular qual seria a rota mais curta para realizar seu circuito. A solução consiste em avaliar todas as possíveis combinações de rotas entre todas as cidades. Formalmente, poder-se descrever o problema ao imaginar-se que existindo 48 possíveis cidades, no momento em que o vendedor chegar na primeira restarão 47 permutações possíveis de rotas para serem calculadas entre as outras cidades, na segunda 46 e assim sucessivamente. Ou seja, o total de rotas possíveis será $R = 48!$ ou 2.413.915.592.536.072.670.862.289.047.373.375.038.521.486.354.677.760.000.000.000 rotas.²⁴¹

Supondo-se que fosse possível utilizar um supercomputador que procedesse o cálculo para cada rota em 0.000000000000000000033 segundos (o tempo que a luz leva para atravessar o átomo de hidrogênio), a resolução do problema do vendedor ambulante para 48 cidades levaria dez trilhões de vezes mais tempo do que a atual idade do universo.²⁴² Consequentemente, ainda que seja possível resolver o problema, não seria possível resolvê-lo em um tempo realístico.²⁴³

Em 1993, Weinberger demonstra matematicamente que o modelo NK é um tipo de problema de otimização de decisões que pode ser resolvido em um tempo realístico para a classe de paisagens adaptativas que é produzida pelo caminhar adaptativo simples, de um microestado vizinho mutante um elemento por vez, para valores pequenos de N. Porém, para a classe de paisagens produzida por caminhadas adaptativas que possam realizar saltos randômicos de adaptação, ou para valores elevados de N obtém-se um problema NP completo.²⁴⁴

²⁴⁰ FORTNOW, Lance. **The Golden Ticket: P, NP, and the search for the impossible**. Princeton: Princeton University Press, 2013, p. 02.

²⁴¹ FORTNOW, Lance. **The Golden Ticket: P, NP, and the search for the impossible**. Princeton: Princeton University Press, 2013, p. 02.

²⁴² Estima-se a idade do universo em 5×10^{17} segundos ou 13.772×10^9 anos, aproximadamente 13 bilhões de anos. HALLIDAY, David.; RESNICK, Robert.; WALKER, Jearl. **Fundamentals of physics**. New York: Wiley. 2014, p. 05.

²⁴³ FORTNOW, Lance. **The Golden Ticket: P, NP, and the search for the impossible**. Princeton: Princeton University Press, 2013, p. 03.

²⁴⁴ WEINBERGER, Edward D. NP Completeness of Kauffman's N-K Model: a Tuneably Rugged Fitness Landscape. **SFI Working Papers**, 1996, p. 03. Disponível em: <

Assim, o problema de decisão do modelo NK, para vizinhos randômicos, ou seja, para a variação do modelo NK com saltos randômicos, é um problema NP completo para qualquer sistema-sequência com $K \geq 3$.²⁴⁵

As dificuldades de implementação do modelo com saltos de adaptação randômicos serão contornadas de formas diferentes entre os autores que implementaram o modelo, justificando em certa medida o pequeno número de trabalhos que passaram da modelagem para a implementação e ainda, o menor número daqueles que realizam a implementação com dados empíricos.

Uma das primeiras implementações do modelo NK para o Direito é o trabalho de Post e Johnson, publicado em 1999, sobre regulação descentralizada da internet. Especificamente, os autores tratam da regulação de patentes e direitos autorais no contexto da rede mundial de computadores e elaboram a aplicação do modelo NK como um problema de otimização de decisões sobre criar regulações²⁴⁶.

O problema é ilustrado com o Dilema do Jardineiro. Considere um jardim composto de vários tipos de plantas de espécies diferentes e um jardineiro que deseja maximizar alguma variável do jardim como um todo, como a produção das plantas frutíferas, por exemplo. O jardineiro encontra-se diante de um problema de decisão. Em relação a cada planta do jardim, ele deve decidir se podá-la ou deixá-la sem poda irá contribuir para a otimização do seu objetivo. Como o jardineiro pode encontrar a melhor combinação de plantas podadas e não podadas de forma a produzir o maior crescimento e produção das plantas em geral?²⁴⁷

O jardim possui características que devem ser consideradas pelo jardineiro. As plantas são heterogêneas, o que significa que a relação entre os estados individuais e o crescimento de cada uma é diferente para cada planta. Para algumas plantas, podá-las irá incentivar seu crescimento, reduzindo o consumo de nutrientes escassos pela folhagem desnecessária. Para outras plantas, no entanto, o choque da poda irá causar um atraso no seu desenvolvimento. Além disso, existe um efeito reflexivo entre as plantas, o que significa que o crescimento de uma planta afeta, positiva ou negativamente, o crescimento de outras plantas.

<https://www.santafe.edu/research/results/working-papers/np-completeness-of-kauffmans-n-k-model-a-tuneably->
> Acesso em: 10 jul. de 2018.

²⁴⁵ WEINBERGER, Edward D. NP Completeness of Kauffman's N-K Model: a Tuneably Rugged Fitness Landscape. **SFI Working Papers**, 1996, p. 06-07.

²⁴⁶ POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Complex Systems, Chicago-Kent Law. Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, 1998.

²⁴⁷ POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Complex Systems, Chicago-Kent Law. Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, p. 1060, 1998.

As condições de uma planta em particular vão determinar a quantidade de luz solar que poderá penetrar por sua folhagem e atingir qualquer outra planta nas vizinhanças, bem como a quantidade de nutrientes que estará disponível no solo nas suas proximidades. Por fim, a resposta em estar em um estado ou no outro (podada ou não podada) é endógeno, ou seja, é uma função do estado de algumas outras plantas. Assim, a resposta de uma planta a estar podada pode variar se ela se encontra em uma região de alta ou baixa insolação. Pode ser que, em uma região de alta insolação esta espécie reaja melhor podada enquanto outra espécie apresente seu pior desenvolvimento nesse estado. Entretanto, a intensidade de luz solar incidente será determinada pelo estado de todas as outras plantas vizinhas a planta podada.²⁴⁸

Formalmente, o sistema do jardim (J) é composto por elementos individuais (N) heterogêneos para cada uma das plantas, as quais podem assumir dois estados: podada (1) ou não podada (0). Cada possível combinação de plantas podadas e não podadas do jardim pode ser chamado de um microestado ou de uma configuração de J. Por fim, cada planta N está ligada a outras plantas que podem influenciar seu desenvolvimento e formam limitações necessárias (K) as escolhas do jardineiro.²⁴⁹

A formulação do Dilema do Jardineiro, segundo Post e Johnson, reflete um problema jurídico fundamental: decidir se uma atividade particular deve ser encorajada, desencorajada, ignorada ou proibida por uma norma jurídica. A partir do Dilema do Jardineiro formula-se o seguinte questionamento: como a realização de determinada atividade (mudança de estados no jardim) por um indivíduo ou grupo afeta o bem-estar geral (maximização de alguma função do jardim, representada pela adaptação) dentro da população a que aquele indivíduo pertence (o jardim)? E qual dessas atividades deve ser encorajada, desencorajada, ignorada ou proibida por uma norma jurídica? Responder esses questionamentos equivalem a resolver o Dilema do Jardineiro. Entretanto, embora seja intuitivamente possível podar um jardim real para que produza os resultados desejados, a solução formal do Dilema do Jardineiro é bastante complexa. Sendo um modelo NK, à medida que K aumenta, as limitações conflitantes

²⁴⁸ POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Complex Systems, Chicago-Kent Law. Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, p. 1061, 1998.

²⁴⁹ POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Complex Systems, Chicago-Kent Law. Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, p.1062, 1998.

da poda aumentam exponencialmente, tornando, no extremo $K = N - 1$ um problema insolúvel.²⁵⁰

A solução escolhida por Post e Johnson foi modelar e implementam uma variação do modelo NK conhecida como técnica de retalhos. Essa técnica trata de dividir a paisagem adaptativa em subgrupos ou retalhos de tamanhos apropriados. Nessa solução, ao invés de calcular-se a influência de K outros possíveis elementos em toda a paisagem de adaptação, o que se faz é calcular a adaptação apenas de um grupo de arranjos vizinhos ao arranjo que se deseja modificar. Assume-se que a configuração dos retalhos não poderá influenciar todas as outras possíveis configurações, mas terá apenas um efeito local restrito a outras configurações próximas.²⁵¹

Ao contrário do que pode imaginar, dividir a paisagem de adaptação em retalhos não corresponde a uma solução reducionista para um problema complexo. No modelo de retalhos, a adaptação da configuração S_1 é calculada em relação apenas às outras configurações que compõe o retalho a qual S_1 pertence. Porém, a adaptação do retalho, como uma meta-configuração, depende da adaptação dos demais retalhos da paisagem, tornando os retalhos coevolutivos. Além disso, Kauffman observou que retalhos muito grandes geram estagnação e muito pequenos levam a regimes caóticos, replicando em escala interna as tragédias da complexidade já descritas. Logo, o tamanho dos retalhos, para uma adaptação ótima, deve, não estranhamente, se encontrar no limite entre a estagnação e o caos.²⁵²

Assim, Post e Johnson realizam uma formulação matemática do seu modelo de retalhos do modelo NK e a implementam. Concluem que a regulação da rede mundial de computadores pode ser considerada de forma mais rica e a partir de novas perspectivas com o uso do modelo conceitual NK do Dilema do Jardineiro, como a possibilidade de se alcançar algum tipo de sistema regulatório não centralizado, como o modelo de retalhos do sistema NK. Apontam que a implementação do modelo NK com a técnica de retalhos serve de modelo teórico a ser considerado para a discussão das regulações de direitos autorais digitais dentro dos limites nacionais (retalhos) sem uma autoridade central global. Por fim, apontam as limitações

²⁵⁰ POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Complex Systems, Chicago-Kent Law. Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, p. 1064-1065, 1998.

²⁵¹ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 138.

²⁵² KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 144-145.

do desenvolvido modelo, criado de forma totalmente conceitual, sendo imprescindível o uso de dados empíricos.²⁵³

Outra implementação do modelo NK e da técnica de retalhos no Direito é o trabalho de Faggini e Parziale (2016), ambas pesquisadoras de economia e estatística da universidade de Salerno, Itália. Afirmam as autoras que o problema da descentralização tributária, em relação a eficiência da arrecadação tributária frente aos gastos públicos, na teoria econômica reside em assinalar funções a diferentes níveis de entes estatais em um Estado nacional de forma heterogênea, permitindo a competição fiscal e ainda promovendo as funções fiscais redistributivas. A utilização do sistema NK de retalhos como modelo conceitual pode ser um modelo de descentralização fiscal que poderia ser otimizada pela análise do comportamento do algoritmo do modelo de retalhos. Descrever o modelo de descentralização fiscal como uma paisagem adaptativa de retalhos co-evolucionários (unidades administrativas fiscalmente independentes) que se desenvolvem no tempo, pode mostrar novas perspectivas em como compartilhar as competências tributárias e desenvolver políticas fiscais adaptativamente robustas.²⁵⁴

Conforme Faggini e Parziale, o conceito de coevolução destaca que uma mudança no planejamento tributário de um ente de direito público interno com competência tributária altera e cria diferentes cenários, positivos ou negativos, para outros entes federativos. Em relação do modelo NK o planejamento estratégico de um estado ou município dentro das suas possíveis configurações, na sua paisagem de adaptação, deforma as paisagens de adaptação dos outros estados e municípios pertencentes ao Estado nacional que os contém. Assim, o planejamento legislativo federal de como as limitações conflitantes entre competências tributárias dos entes federativos deve ser feito tem um papel central no bom ajuste do sistema fiscal de todo sistema (nacionalmente).²⁵⁵

Além de construir um modelo conceitual, Faggini e Parziale implementam seu modelo numericamente. Os resultados sugerem que a simulação das configurações de um sistema tributário descentralizado pode fornecer informações importantes, como por exemplo, identificar por meio do caminhar adaptativo quais configurações do sistema não são ótimas e

²⁵³ POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Complex Systems, Chicago-Kent Law. Review**, vol. 73, p. 1055-1099, p. 1093, 1998.

²⁵⁴ FAGGINI, Marisa; PARZIALE, Anna. A New Perspective for Fiscal Federalism: The NK Model. **Journal of Economic Issues**, vol. 50, n. 4, pp. 1069-1104, p.1069-1070, 2016.

²⁵⁵ FAGGINI, Marisa; PARZIALE, Anna. A New Perspective for Fiscal Federalism: The NK Model. **Journal of Economic Issues**, vol. 50, n. 4, pp. 1069-1104, p.1086, 2016

qual a direção das modificações que devem ser tomadas para que se alcance uma configuração mais eficiente do sistema tributário.²⁵⁶

Concluem Faggini e Parziale que o federalismo fiscal, analisado por meio do modelo NK, pode ser visto como uma densa rede de relações econômicas entre diferentes sistemas adaptativos complexos que coevoluem ligados por fortes interdependências. Descrever o federalismo fiscal por meio de sistemas complexos e avaliar novos usos para as ferramentas de análise econômica é o início do estudo da descentralização fiscal de um ponto de vista dinâmico e evolucionário.²⁵⁷

Por fim, o terceiro trabalho especificamente voltado à aplicação do modelo NK ao Direito, é o estudo de Alston e Mueller (2015) sobre o direito de propriedade. O trabalho se propõe a apresentar um modelo de evolução para os direitos de propriedade baseados na teoria do modelo NK. Desta forma, utilizando-se do conceito de que o direito de propriedade é na verdade um feixe de direitos: no lugar de um direito único à propriedade existe uma relação jurídica entre as pessoas concernente a um feixe de direitos relacionados a determinada coisa. Esse feixe de direitos pode ser dividido de várias formas, sendo descrito como uma divisão em nove elementos: (1) direito de possuir; (2) direito de uso; (3) direito de administrar; (4) direito de usufruir os frutos do bem; (5) direito de alienar; (6) direito a assegurar o bem; (7) direito a transmitir o bem hereditariamente; (8) direito de evitar prejuízos; e (9) proibições contra uso danoso ou responsabilidade na execução do bem.²⁵⁸

Assim, Alston e Mueller modelam o problema da seguinte forma: cada relação de propriedade, das nove enumeradas, forma um feixe de direitos. Então, têm-se N relações jurídicas que podem ser agrupadas em um sistema de direitos de propriedade. Para cada configuração ou microestado de S, os N direitos podem estar presentes (1) ou ausentes (0). Considerando-se apenas as nove relações jurídicas descritas, então tem-se 2^9 arranjos possíveis, ou seja, 512 arranjos possíveis a esse feixe de direitos de propriedade. Define-se a função de adaptação do sistema como sendo a capacidade desse feixe de direitos em se perpetuar no tempo. Considera-se a possibilidade de coevolução em paisagens de adaptação acopladas, considerando a coevolução do sistema econômico e do sistema jurídico como necessária a compreensão dos direitos de propriedade. Apesar da especificação dos elementos que poderiam

²⁵⁶ FAGGINI, Marisa; PARZIALE, Anna. A New Perspective for Fiscal Federalism: The NK Model. **Journal of Economic Issues**, vol. 50, n. 4, pp. 1069-1104, p.1098, 2016.

²⁵⁷ FAGGINI, Marisa; PARZIALE, Anna. A New Perspective for Fiscal Federalism: The NK Model. **Journal of Economic Issues**, vol. 50, n. 4, pp. 1069-1104, p.1098, p. 1101-1102, 2016.

²⁵⁸ ALSTON, Lee; MUELLER, Bernardo. Towards a More Evolutionary Theory of Property Rights. **Iowa Law Review**, vol. 100, n. 6, pp. 2255-2273, p. 2261, 2015.

ser adaptados ao modelo NK, não é realizado no artigo uma correspondência rigorosa, tampouco é completamente formulado um modelo, não havendo implementações ou uso de dados empíricos. No entanto, afirma-se que o uso do modelo NK como modelo conceitual apresenta-se como uma nova forma de visualizar a dinâmica do direito de propriedade e sua evolução.²⁵⁹

Os exemplos citados de implementação das paisagens adaptativas ao Direito destacam os elementos de auto-organização e descentralização presentes em sistemas complexos adaptativos, que aparecem como dinâmicas fundamentais e, por vezes, contra-intuitivas nos resultados das simulações numéricas ou na modelagem da estrutura do algoritmo para a computação do problema, como na versão de retalhos do modelo NK.

Uma das características do método de modelagem de baixo para cima (*bottom up*) para sistemas complexos é ser altamente orientado ao uso de dados empíricos, construindo modelos e simulações simples, mas que detenham maior poder de refletir as características básicas dos sistemas modelados, mesmo que seja impossível generalizações. Busca-se não leis gerais universais como as da física, mas padrões gerais que podem ser aplicados a classes de sistemas complexos semelhantes, como os padrões biológicos que descrevem funcionalidades, não constituintes elementares. Normalmente, esses padrões podem ser melhor descritos por um processo computacional do que por um sistema de equações lineares, uma vez que os sistemas complexos produzem ordem pelo acréscimo informacional, ao contrário dos sistemas físicos cuja representação de organização geralmente ocorre com a minimização da energia do sistema.²⁶⁰

O objetivo do presente capítulo foi descrever em detalhes o modelo NK e sua aplicabilidade em diversas áreas, referindo aplicações já realizadas em Direito. Tomando os modelos já construídos para o Direito e a estrutura matemática do modelo NK, é possível modelar a rede de tributos descrita no capítulo 2 e analisar, a partir da perspectiva fornecida pelo modelo de Kauffman, a dinâmica das suas interações. Isso pode fornecer conceitos mais claros e novas perspectivas sobre as descrições da complexidade sociojurídica expostas na teoria de Ruhl no capítulo 1, traduzindo os conceitos e as metáforas utilizadas em termos mais

²⁵⁹ ALSTON, Lee; MUELLER, Bernardo. Towards a More Evolutionary Theory of Property Rights. **Iowa Law Review**, vol. 100, n. 6, pp. 2255-2273, p. 2261, 2015.

²⁶⁰ MITCHELL, Melanie. **Complexity: a guided tour**. New York: Oxford Press, 2009, p. 172-179; BRUSH, E. R.; KRAKAUER, David. C.; FLACK, Jessica C.; Conflicts of interest improve collective computation of adaptive social structures. **Science Advances**. v.4, n.1, jan. 2018; ²⁶⁰ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 43.

precisos e em uma dinâmica de componentes quantificáveis, que possibilite uma maior probabilidade de transposição da teoria da complexidade para a realidade da dinâmica do sistema jurídico.

A flexibilidade de representação de qualquer sistema complexo adaptativo com o modelo NK torna-o uma ferramenta poderosa para analisar uma variedade de diferentes configurações do sistema estudado que seria humanamente impossível. Além disso, o modelo permite a inserção de dados empíricos permitindo um posterior confronto com a realidade representada.

No próximo capítulo o modelo NK será aplicado à descrição obtida do sistema tributário brasileiro no capítulo 2 por meio de uma simulação computacional, buscando-se visualizar empiricamente os resultados previstos neste capítulo e seus reflexos quando transportados à dinâmica sociojurídica.

4. O MODELO NK APLICADO AO SISTEMA TRIBUTÁRIO

Este capítulo cuida da junção da descrição gerada no capítulo 2, por meio da representação em redes do sistema tributário brasileiro, com o modelo de paisagens adaptativas proposto pelo modelo NK(C) descrito no capítulo 3. Utiliza-se a implementação de uma simulação computacional que une os dois modelos propostos para representação do sistema tributário como um sistema complexo adaptativo. Posteriormente, o método e os protocolos da implementação serão descritos, bem como os resultados da simulação serão discutidos.

O uso das paisagens de adaptação como descrição da dinâmica de evolução de sistemas sociojurídicos é recente, sendo a obra de Ruhl o mais extenso trabalho sobre o tema. Entretanto, embora Ruhl construa uma teoria sobre a dinâmica do sistema sociojurídico em paisagens de adaptação, sua teorização é uma primeira etapa na construção de uma teoria da complexidade jurídica. Embora lance os conceitos centrais e trate das principais analogias com o sistema sociojurídico e sistemas complexos adaptativos, não enfrenta a formalização de definições claras que possibilitem a criação de modelos descritivos mais próximos da realidade jurídica.²⁶¹

Uma possibilidade de adaptação do modelo NK para o sistema sociojurídico brasileiro é sua utilização para descrever o sistema tributário nacional, o qual propõe-se no presente trabalho. Primeiramente, demonstrou-se que é possível e adequado descrever o sistema tributário nacional como uma rede de relações jurídicas entre os tributos, segundo os critérios apresentados no capítulo 2. Uma vez possível a descrição do sistema tributário brasileiro por uma rede de N tributos ligados por K relações jurídicas, é possível descrever as possíveis interações dessa rede por meio do modelo NK.

Assim, considerando a rede de 68 tributos mapeadas anteriormente, pode-se reajustar a representação da rede de N elementos (tributos) de forma que tornem possível a mecânica de caminhadas adaptativas de forma natural, com mutações de um elemento vizinho mais próximo, representando a sequência S como um círculo, onde o primeiro elemento N_1 toca o último elemento N_{n-1} .

²⁶¹ RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, mar. 1996; RUHL, John B. Law's Complexity: a primer. **Georgia State Law Review**, vol. 24, n. 4, 2008, pp. 885-912; RUHL, John B; Katz, Daniel M. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. *Iowa Law Review*, vol. 101, 2015, pp. 191-243.

- a) N representa cada tributo, logo $N = 68$, para os tributos mapeados;
- b) K representa as ligações necessárias entre cada um dos N tributos mapeados (anexo A e tabela ...), por meio da análise dos textos normativos referentes a cada tributo, sendo encontrado K com valor inteiro de 12.

A definição de W , ou seja, da adaptação para o sistema tributário foi mantido como um valor randômico, da mesma forma que no modelo original, variando no intervalo de 0.0 a 1.0, para cada uma das 2^{K+1} combinações de estados possíveis dos N elemento do sistema e suas contribuições de adaptação por meio de ligações epistáticas.²⁶³

Inicialmente, deve-se observar que no modelo construído para o subsistema tributário, se $N = 68$ e considerando a possibilidade de cada tributo incidir ou não incidir sobre determinada situação fática (dois estados possíveis), assim, se obtém 2^{68} estados possíveis para o sistema-sequência S_t que representa o sistema tributário nacional.

De pronto se observa a impossibilidade de conferência humana de cada um dos estados possíveis em busca do estado mais adaptado, indiferentemente da definição que se adote para a adaptação. Ora, $2^{68} = 295.147.905.179.352.825.856$ microestados possíveis. Dessa forma, mesmo diante de uma definição clara da função da tributação como sua função de adaptação, avaliar manualmente todos, ou mesmo uma parcela dos 2^{68} estados possíveis, seria temporalmente inviável.

Ainda, ao se considerar o subsistema tributário modelado a partir de dados empíricos observou-se $K = 12$. Recorde-se que uma vez utilizada a modelagem do sistema NK que permite saltos e caminhadas adaptativas como a dinâmica mais realista da evolução de sistema complexos, quando $K > 3$ chega-se a um problema NP completo, que não admite solução computacional simples em um tempo razoável. Dessa forma, deve-se contornar o problema do crescimento exponencial do tempo de computação na sua implementação.²⁶⁴

A decisão de não estabelecer uma definição precisa para W , no presente estudo, deve-se à opção por não definir a função dos tributos no sistema sociojurídico como unívoca ou mesmo não tentar considerar todas as suas possíveis funções em uma única formulação matemática e, a partir dela, definir como se daria a contribuição de adaptação (w) de cada um dos N elemento do sistema tributário para a adaptação geral (W) do sistema. A dificuldade teórica de estabelecer com clareza essas definições e a dificuldade prática de se obter métricas apropriadas, empiricamente colhidas, devem ser trabalhadas para além do presente trabalho,

²⁶³ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 42.

²⁶⁴ WEINBERGER, Edward. D. NP Completeness of Kauffman's N-K Model: a Tuneably Rugged Fitness Landscape. **SFI Working Papers**, 1996, p. 09

que busca apenas demonstrar a possibilidade da representação e as vantagens dessa abordagem para o estudo do sistema sociojurídico e especificamente do sistema tributário.

A exata definição dos valores de adaptação é um exemplo da dificuldade de transpor os conceitos de uma teorização para modelos e simulações. Na teoria de Ruhl, o objetivo do Direito, no sistema sociojurídico, é promover a sustentabilidade do sistema, assegurando que o sistema sobreviva às incertezas do caos, dos padrões emergentes e das catástrofes que possam ocorrer. Mais à frente, Ruhl iguala uma robusta sustentabilidade à adaptação, como um fator que permite aos sistemas sobreviverem a dinâmica dos sistemas complexos, enumerando três características: estabilidade, simplicidade e adaptabilidade. Posteriormente, em um trabalho especificamente sobre a adaptação do Direito, Ruhl modifica seu conceito de adaptação legal e afirma que a adaptação legal é uma mensuração de como determinada norma jurídica é capaz de atingir seus objetivos expressos na sua motivação legislativa ou política legal.²⁶⁵

Uma definição de adaptação legal que tome qualquer uma das definições de Ruhl seria de difícil elaboração, considerando como seria possível a coleta de dados empíricos que as demonstrassem. Mesmo que se construísse uma definição de adaptação legal que expressasse os conceitos específicos de adaptação para o sistema sociojurídico em valores quantificáveis e em dados que possam ser coletados, esses valores seriam condicionados pela variação de N e K no modelo de paisagens de adaptação. Desta forma, embora valores mais precisos sejam necessários para a análise detalhada de estratégias de criação de configurações que apresentem a melhor chance de adaptação em determinado sistema, eles são dispensáveis em descrições gerais do modelo NK para qualquer sistema-sequência.

Sobre o descrito, Kauffman afirma que a escolha da forma de distribuição dos valores de contribuição de adaptação (w) para a adaptação geral do sistema (W) possui um impacto insignificante sobre a performance da simulação, diante da importância da variação dos parâmetros N e K . Ou seja, dada a complexidade das redes de interações epistáticas em sistemas complexos e a impossibilidade de conhecer a exata contribuição de adaptação de cada elemento do sistema, mesmo ao se assumir uma função de adaptação randômica não há perda de generalidade. A força das relações entre os parâmetros N e K determinam os limites de

²⁶⁵ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, vol. 45, n. 5, pp.849-926, p. 857 e 887, 1996; RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, pp.1408-1489, p. 1451, mar. 1996.

complexidade do sistema e se sobrepõem às flutuações das demais variáveis, deixando o sistema praticamente invariável em relação às flutuações de outros parâmetros.²⁶⁶

O modelo NK tem como principal objetivo destacar o efeito das interdependências conflitantes no sistema, suas contribuições para o surgimento de estruturas auto-organizadas e seu reflexo na capacidade de se obter configurações ótimas em relação a sua adaptação em um contexto dinâmico de coevolução. Esse processo ocorre independentemente dos valores que sejam assumidos para representar a adaptação em determinado sistema.²⁶⁷

O processo de evolução combina os processos de mutação e seleção natural. As mutações podem ser vistas, no sistema sociojurídico, como o processo de mudança de significado das normas jurídicas. O significado das normas jurídicas pode ser descrito como um processo emergente, e desta forma novos padrões emergentes podem surgir, e naturalmente surgem, por meio da dinâmica do sistema complexo adaptativo. As mudanças causam a emergência de novos significados normativos que serão selecionados por agentes do sistema sociojurídico (advogados, juízes, tribunais, o próprio legislativo com processos de alterações diretas do texto legal) como os mais aptos, em determinado contexto, para atingir os fins valorados como importantes para estes agentes.²⁶⁸

O processo de seleção biológico obedece a pressões do meio ambiente e da estrutura do próprio organismo, enquanto o processo de seleção sociojurídico pode ser pontualmente arbitrário, como em uma reforma legal completamente alheia à melhor adaptação do sistema, como discutido no exemplo da emenda constitucional que criou a COSIP. Como representar a vontade de agentes e suas decisões nas descrições dos padrões de complexidade de sistemas sociais permanece como um dos maiores desafios de uma teoria da complexidade social. Recentemente, o estudo da computação coletiva em sistemas biológicos e sociais começou a fornecer os primeiros elementos de uma teoria que pode realizar essa descrição.²⁶⁹

Mesmo diante dessas dificuldades, o modelo NK é capaz de destacar como a rede de interdependências em sistemas complexos pode dar origem a padrões bem ordenados, ou seja,

²⁶⁶ WEINBERGER, Edward D. NP Completeness of Kauffman's N-K Model: a Tuneably Rugged Fitness Landscape. **SFI Working Papers**, 1996, p. 05; KAUFFMAN, S. A.; WEINBERGER, E. D.; PERELSON, A. S. Maturation of the immune response via adaptive walks on affinity landscapes. In **Theoretical Immunology I: Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1988; KAUFFMAN, S. A.; WEINBERGER, Edward D. The NK model of rugged fitness landscapes and its application to maturation of the immune response. **Journal of Theoretical Biology**, vol. 141, n.2, 1989, p. 211-245.

²⁶⁷ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 93-94.

²⁶⁸ FOLLONI, André. Complexidade, direito e normas jurídicas como emergências. **Direito & Praxis**, vol. 08, n. 2, 2017, p.905-941

²⁶⁹ BRUSH, Eleanor R. B.; KRAKAUER, David C.; FLACK, Jessica C. Conflicts of interest improve collective computation of adaptive social structures. **Science Advances**, vol. 4, n. 1, p. 01-10, 2018.

como essas redes complexas de interdependências podem se auto-organizar. É possível modular configurações de redes com K maior que 2 de modo a formar estruturas ordenadas. Além disso, demonstrou-se por simulações numéricas que é possível modular as variáveis de algumas redes complexas caóticas tornando-as organizadas.²⁷⁰

4.1 MÉTODO E RESULTADOS

Desde a publicação de *The Origins of Order* em 1993, o modelo NK tem sido remodelado e implementando de diversas maneiras. Isso porque Kauffman define o modelo, mas não oferece detalhes sobre sua possível implementação computacional. Dentre todos os trabalhos que se utilizam do modelo NK, alguns não citam os métodos de validação do modelo formulado, outros utilizam regressões estatísticas para encontrar desvios aberrantes nos resultados e outros buscam reproduzir os resultados originais de Kauffman como forma de validação do modelo criado. Optou-se por reproduzir os resultados originais de Kauffman como forma de validação do modelo criado neste trabalho.²⁷¹

A implementação do modelo utilizado usou, fundamentalmente, a implementação desenvolvida na plataforma Repast, por Vidgen e Padget em 2009, como uma forma de reconstruir o modelo NK e NK(C) originais em uma plataforma flexível e de código aberto fundamentalmente escrito em Python e Java.²⁷²

Nesse trabalho os autores buscam contornar os problemas computacionais e ao mesmo tempo oferecer uma plataforma flexível e rica em opções para a simulação de modelos NK e NK(C). O ambiente Java oferece uma interface amigável enquanto as otimizações matemáticas são tratadas em Python, uma linguagem conhecida pela sua potência em simulações matemáticas.

²⁷⁰ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 45.

²⁷¹ GERRITS, Lasse. MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017; KAUFFMAN, Stuart; LEVIN, S. Towards a general theory of adaptative walks on rugged landscapes. **Theoretical Biology**, vol. 128, n. II, 1987; POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Chicago-Kent Law Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, 1998; ²⁷¹ VIDGEN, Richard; PADGET, Julian. Sendero: An Extended, Agent-Based Implementation of Kauffman's NKCS Model. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, vol. 12, n.4, pp. 01-13, 2009.

²⁷² VIDGEN, Richard; PADGET, Julian. Sendero: An Extended, Agent-Based Implementation of Kauffman's NKCS Model. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, vol. 12, n. 4, pp. 01-13, 2009. <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/8.html>>

O principal problema de qualquer implementação do modelo NK encontra-se nos cálculos dos diferentes microestados necessários para a formação de uma paisagem de adaptação. Considerando a dinâmica das limitações conflitantes mensuradas por K e o crescimento exponencial de combinações possível ligado aos valores de N , quando se extrapola valores relativamente baixos de N ($N \geq 20$) se torna computacionalmente difícil gerar todas as possíveis combinações que formariam a totalidade das paisagens de adaptação.

Assim, a solução encontrada na implementação de Vidgen e Padget usa a dinâmica das caminhadas adaptativas para calcular apenas o trajeto necessário para a realização dessas caminhadas, deixando de lado os microestados que não foram atingidos pela caminhada adaptativa.

A solução para o problema de grandes valores de N nessa implementação ocorre da seguinte forma. Considerando que para valores grandes de N não é possível gerar todas as configurações possíveis para uma paisagem completa desde o início da simulação, como por exemplo, no caso da presente simulação onde $N = 68$, logo deveriam ser geradas 2^{68} configurações possíveis para uma descrição completa da paisagem de adaptação do sistema tributário S_t , apenas para realizar a configuração inicial da paisagem de adaptação. A forma utilizada na presente implementação para contornar esse problema é gerar os valores para cada configuração da paisagem de acordo com a necessidade da caminhada adaptativa. Desta forma, para um sistema com $N = 4$ e $K = 0$, e com sua primeira configuração (0110), tem-se, conforme descrito na Tabela 4²⁷³:

Tabela 4 – Configuração para o cálculo de adaptação

Elemento	Estado	Contribuição de adaptação (w)
N_1	0	0.6
N_2	1	0.2
N_3	1	0.4
N_4	0	0.3
0,375 (Adaptação média W)		

Fonte: O autor, 2019.

²⁷³ VIDGEN, Richard; PADGET, Julian. Sendero: An Extended, Agent-Based Implementation of Kauffman's NKCS Model. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, vol. 12, n. 4, p. 04-06, 2009.

A configuração seguinte, um vizinho mutante, para esse sistema poderia ser (Tabela 5):

Tabela 5 – Configuração para o cálculo de adaptação com vizinhos mutantes

Elemento	Estado	Contribuição de adaptação (w)
N_1	0	0.6
N_2	1	0.2
N_3	1	0.4
N_4	1	0.5
		0,425 (Adaptação média W)

Fonte: O autor, 2019.

Observa-se que os primeiros três valores da configuração S_2 foram recuperados do cálculo realizado para a configuração S_1 , sendo necessário o cálculo apenas da posição $N_4 = 1$, que não havia aparecido antes. A mesma lógica se aplica para sistemas com $K \neq 0$, assim, para um sistema S_b com $N = 4$ e $K = 1$, a primeira configuração possível S_{1b} pode ser (0110), assim, tem-se a Tabela 6:

Tabela 6 – Configuração para o cálculo de adaptação considerando K

Elemento	Estado	Contribuição de adaptação (w)
N_1N_2	01	0.2
N_2N_3	11	0.6
N_3N_4	10	0.4
N_4N_1	00	0.7
		0,475 (Adaptação média W)

Fonte: o autor, 2019.

Se a segunda configuração vizinha, um elemento mutante, for (0010), então (Tabela 7):

Tabela 7 – Configuração para o cálculo de adaptação considerando K, com mutação

Elemento	Estado	Contribuição de adaptação (w)
N_1N_2	00	0.5
N_2N_3	01	0.2
N_3N_4	10	0.4
N_4N_1	00	0.7
0,450 (Adaptação média W)		

Fonte: O autor 2019.

Neste caso, as duas primeiras combinações eram novas e precisaram ser recalculadas enquanto as duas últimas foram recuperadas do sistema precedente. Desta forma, evita-se a sobrecarga do cálculo de cada possível configuração do sistema para valores elevados de N, que não necessariamente seriam explorados durante a simulação, uma vez que a caminhada adaptativa pode parar antes de uma considerável parte das possíveis configuração da paisagem de adaptação ser explorada.

O programa desenvolvido por Vidgen e Padget fornece como principais métricas os valores máximos, mínimos e médios de adaptação, o número de microestados vizinhos mais aptos e a quantidade de iterações realizada pelo algoritmo até que cesse a caminhada adaptativa.

É possível modular os valores de N e K livremente, bem como as formas de interação da caminhada adaptativa durante a simulação, simulando saltos de adaptação ou uma caminhada regular.

A validação da implementação, seguindo o processo de Vidgen e Padget em 2009, deu-se com a reprodução das simulações feitas por Kauffman em 1993 para demonstrar a dinâmica dos fatores N e K no modelo.

A caminhada adaptativa inicia-se em um único ponto randômico da paisagem e percorre, realizando a exploração sistemática dos microestados vizinhos um elemento mutante, a paisagem de adaptação, até encontrar um ótimo local. Ou seja, até o valor de adaptação dos vizinhos um elemento mutante, não serem superiores a configuração atual onde encontra-se a caminhada adaptativa. Para cada valor de N e K são realizadas 100 simulações, o valor médio da adaptação ótima dessas 100 simulações é tomado. Para cada valor de N e K apresenta-se dois valores, conforme a Tabela 6.

O primeiro valor de cada combinação é o valor obtido por Kauffman em 1993, com seu respectivo desvio padrão entre parênteses. O segundo valor para cada combinação, em negrito, representa os valores obtidos nesse trabalho com seu respectivo desvio padrão.

Tabela 8 – Comparação entre médias de adaptação para diversos valores de N e K

N						
K	8		16		24	
0	0,65 (0,08)	0,66 (0,08)	0,65 (0,06)	0,67 (0,05)	0,66 (0,04)	0,66 (0,04)
2	0,70 (0,07)	0,70 (0,06)	0,70 (0,04)	0,71 (0,04)	0,70 (0,08)	0,71 (0,04)
4	0,70 (0,06)	0,71 (0,06)	0,71 (0,04)	0,71 (0,03)	0,70 (0,04)	0,71 (0,03)
8	0,66 (0,06)	0,66 (0,05)	0,68 (0,04)	0,68 (0,04)	0,68 (0,03)	0,69 (0,03)
16			0,65 (0,04)	0,63 (0,04)	0,66 (0,03)	0,65 (0,03)
24					0,63 (0,03)	0,60 (0,02)

N				
K	48		96	
0	0,66 (0,03)	0,67 (0,03)	0,66 (0,02)	0,66 (0,02)
2	0,70 (0,02)	0,70 (0,03)	0,71 (0,02)	0,71 (0,02)
4	0,70 (0,03)	0,71 (0,02)	0,70 (0,02)	0,70 (0,01)
8	0,69 (0,02)	0,69 (0,01)	0,68 (0,02)	0,69 (0,01)
16	0,66 (0,02)	0,66 (0,02)	0,66 (0,02)	0,66 (0,01)
24	0,64 (0,02)	0,64 (0,02)	0,64 (0,01)	0,64 (0,01)
48	0,60 (0,02)	0,59 (0,02)	0,60 (0,01)	0,61 (0,01)

Fonte: O autor, 2019.

Observa-se que os valores obtidos se encontram próximos aos valores encontrados por Kauffman, mesmo em relação a possíveis variações fornecidas pelo desvio padrão de cada média de valores, aferindo a precisão da implementação em relação ao modelo original e os resultados obtidos.

Uma vez verificada a validade da implementação, iniciou-se o tratamento dos dados obtidos para o sistema tributário nacional. O valor encontrado de N para os dados obtidos da análise dos textos normativos tributários foi de $N = 68$, optou-se por realizar simulações de valores de K variando no intervalo $[0,68]$. Para cada valor escolhido de K foram realizadas 100 simulações onde foram iniciadas 100 caminhadas adaptativas simultâneas em configurações randômicas da paisagem adaptativa, de forma a se obter o maior número possível de configurações dentro o espaço de configurações do sistema tributário nacional (S_t), antes das caminhadas pararem nos locais ótimos.

Os valores médios encontrados para a adaptação das diferentes configurações de S_t , para diferentes valores de K são apresentados na Tabela 7.

Utilizou-se para as simulações um computador desktop AMD Ryzen7 1700, processador de 8 cores, 3.0 GHz, com 32 GB de memória RAM, com sistema operacional Windows 10 Pro, versão 1803, compilação 17134.523. A simulação para $K = 0$ durou 11 minutos para ser realizada, enquanto para $K = 68$, foram gastos 28 minutos. O tempo de simulação para os mesmos valores de N e K, porém, com a caminhada randômica podendo realizar saltos nas paisagens de adaptação em busca de configurações com melhores valores de adaptação e utilizando-se valores randômicos de K aumenta exponencialmente. Para uma simulação com $K = 60$ cada passo da caminhada adaptativa dura aproximadamente 1 hora, considerando a média de passos para esses valores, 100 simulações com 100 caminhadas simultâneas tomariam aproximadamente 25 dias de processamento contínuo.

Tabela 9 – Valores médios de adaptação com N fixo em 68 e K variável

N = 68			
K	W	K	W
0	0,664	36	0,676
4	0,751	40	0,671
8	0,742	44	0,666
12	0,724	48	0,660
16	0,712	52	0,654
20	0,703	56	0,647
24	0,695	60	0,646
28	0,688	64	0,639
32	0,684	67	0,628

Fonte: O autor, 2019.

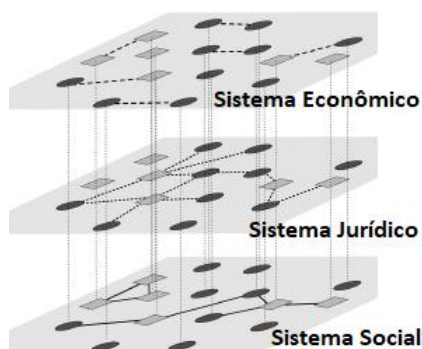
Como não é o objetivo do presente trabalho propor uma nova solução computacional para contornar o problema para valores crescentes de interdependências durante as caminhadas adaptativas ou tampouco fornecer uma análise precisa de configurações tributárias com a melhor adaptação, não foram realizadas simulações com essas configurações dos parâmetros de interdependência e possibilidade de saltos adaptativos.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com a descrição do sistema tributário nacional (S_t) como uma rede complexa de interdependências por meio da aplicação do modelo NK encontram paralelo com os conceitos teorizados no trabalho de Ruhl sobre Direito e complexidade, de forma que é possível confrontar vários conceitos expostos na sua teorização com o modelo construído nesse trabalho para o sistema tributário nacional.²⁷⁴

Um dos fundamentos da teoria da complexidade do Direito de Ruhl encontra-se na descrição do sistema jurídico como coevolucionário ao sistema social e econômico no qual está inserido, formando o sistema sociojurídico. Esse sistema pode ser visualizado com clareza a partir da descrição em redes do sistema tributário desenvolvida no Capítulo 2. A representação em rede, feita para o sistema tributário nacional, poderia ser feita para o sistema social e o sistema econômico em seus diversos aspectos de confluência com o sistema jurídico. Dessa forma, o sistema sociojurídico pode ser descrito, em termos de redes, como um sistema composto por redes complexas acopladas que em razão de suas conexões coevoluem, conforme ilustra a Figura 10 a seguir.²⁷⁵

Figura 10 – Sistema sociojurídico, redes acopladas ou multiplex.



Fonte: Modificado de Thurner; Hanel e Klimek, 2018.²⁷⁶

²⁷⁴ RUHL, JOHN B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, vol. 45, n. 5, pp. 849-926, 1996; RUHL, JOHN B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, jun. 2008; RUHL, JOHN B.; KATZ, Daniel Martin. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. **Iowa Law Review**, n.15-1, vol.101, pp.191-243, fev.2015; RUHL, JOHN B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, pp.1408-1489, mar. 1996.

²⁷⁵ RUHL, JOHN B. The Fitness of Law; : using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Pratical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, pp.1408-1489, p. 1436-1437, mar. 1996.

²⁷⁶ THURNER, Stefan.; HANEL, Rudolf.; KLIMEK. Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: Nova York, 2018, p. 42.

Esses agregados são separados e coloridos a partir da aplicação de algoritmos de separação de comunidades e modularidade que permitem identificar comunidades de vértices na rede por meio de análise das relações estabelecidas pelas arestas.²⁷⁸

As comunidades destacadas na Figura 11 não foram planejadas pelo legislador quando da criação normativa ou em momentos de reforma. Elas surgiram a partir da adição de novos textos normativos ou da edição de antigos ao longo do tempo. Essa aparente organização de elementos da rede, visíveis na sua disposição topológica, surgiu sem qualquer direcionamento do legislador ou dos agentes jurídicos, elas se auto-organizaram em comunidades ao longo do tempo, evidenciando a emergência de padrões estruturais normativos que produzem limitações conflitantes no sistema tributário de forma autônoma. É possível observar a auto-organização, a marca distintiva de um sistema complexo, mesmo em sistemas parcialmente controlados como os sistemas jurídicos.

As catástrofes referidas por Ruhl e o ponto na fronteira com o caos tornam-se conceitos claros e identificáveis da dinâmica real do sistema sociojurídico. As catástrofes que Ruhl adverte que devem ser evitadas podem ser facilmente visualizáveis considerando as famílias de sistemas nos extremos do modelo NK. A ausência de conexões epistêmicas no sistema ($K = 0$) produz um estado de estagnação no qual, mesmo existindo uma solução ótima no sistema, ela, efetivamente, nunca pode ser alcançada plenamente. No outro extremo com o máximo de conexões epistáticas ($K = N - 1$) o sistema entra em um regime caótico, onde as diversas configurações possíveis são completamente não relacionadas e todas as soluções possíveis tendem a um valor médio de adaptação com as caminhadas adaptativas presas em locais sub-ótimos.²⁷⁹

Essas catástrofes referem-se a estados do sistema sociojurídico onde em um extremo a ausência de conexões entre os elementos normativos não impõe qualquer limitação conflitante ao sistema. Entretanto, as limitações conflitantes possuem um papel fundamental na emergência da ordem. Na sua ausência, o sistema é incapaz de produzir caminhadas adaptativas que encontrem e se mantenham no único pico ótimo que a paisagem de adaptação pode gerar. Essa ausência de variedade em configurações ótimas torna o sistema estagnado e pouco responsivo a perturbações.

²⁷⁸ JACKSON, M.; O. **Social and Economic Networks**. Princeton University Press: New York, 2008, p.581-582.

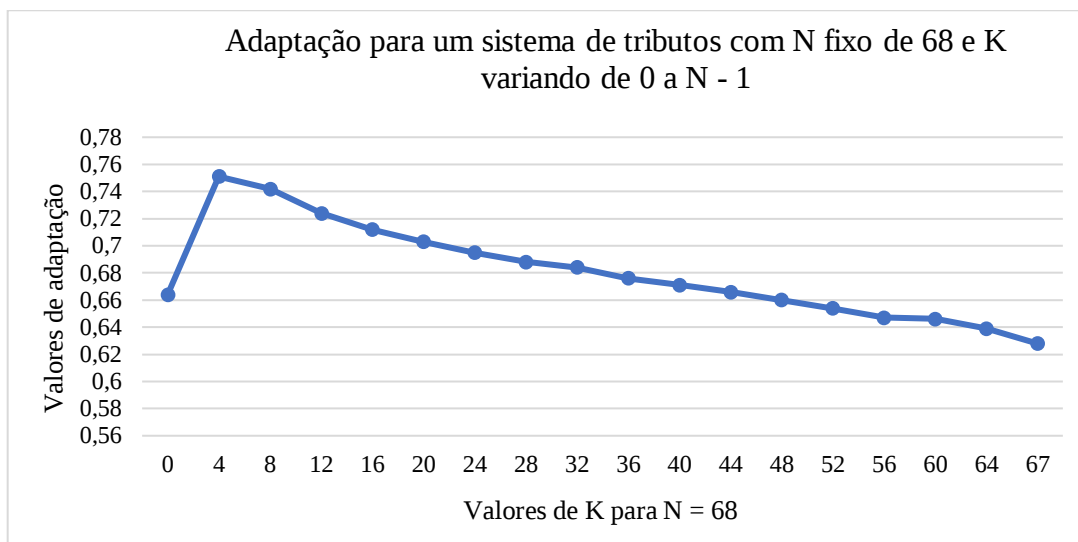
²⁷⁹ RUHL, John B. Complexity Theory as a Paradigm for the Dynamical Law-and-Society System: A Wake-Up Call for Legal Reductionism and the Modern Administrative State. **Duke Law Journal**, vol. 45, n. 5, pp.849-926, p. 886 e 857, 1996.

No outro extremo, a completa interligação de todos os elementos do sistema sociojurídico produz um regime caótico, pois, agora se tem uma infinidade de possíveis soluções, porém, todas com valores de adaptação baixos. É possível produzir soluções jurídicas, mas nenhuma delas é suficientemente eficiente ao ponto de tornar-se um atrator de ordem para o sistema.

Em termos sociojurídicos, utilizando-se a definição de K como as relações entre as normas tributárias estabelecidas pelos seus textos legais, tributos normativamente independentes uns dos outros produziriam um estado com uma adaptação tão baixa quanto se todos os tributos estivessem ligados a todos os outros. Ou seja, a busca por um sistema tributário com máxima adaptação não passa pela mera simplificação das relações entre os tributos, objetivando uma máxima independência entre eles. Passando de um ponto ótimo de interdependências, qualquer outro extremo estaria tendente ao limite de uma catástrofe da complexidade.

Aqui os conceitos vagos de catástrofes podem ser quantitativamente descritos. No caso em estudo do sistema tributário brasileiro representado como o sistema S_t , os valores de adaptação para diferentes valores de K, que foram obtidos na Tabela 9, podem ser dispostos graficamente da seguinte forma, Gráfico 1:

Gráfico 1 – Valores médios de adaptação N constante, K variável.



Fonte: O autor, 2019.

Observa-se que, entre os valores de K utilizados, o melhor valor de adaptação ocorre para $K = 4$. Nesse ponto, obtém-se o máximo de adaptação para o modelo do sistema tributário brasileiro, o que significa que a melhor quantidade de interdependências entre os tributos, dentre os valores simulados, seria que cada tributo em média apresentasse 4 relações

com outros tributos por meio dos seus textos normativos. Se fosse possível modelar o sistema tributário real com essas condições, seria possível manter o sistema em um estado próximo ao ideal de complexidade como proposto por Ruhl. Essa configuração de interdependências permitiria ao sistema tributário exibir resistência a choques externos e adaptabilidade a mudanças internas. O sistema estaria entre as fronteiras das catástrofes e da complexidade.

Observa-se que o valor de adaptação se refere à média de adaptação para todas as configurações ou microestados calculados para S_t com diferentes valores de K . Para cada ponto do gráfico existe um espaço de configurações possíveis do sistema tributário onde a adaptação varia em torno deste valor médio. Se S_t possui $N = 68$, cada estado se refere a uma diferente combinação de incidência ou não incidência dos 68 tributos representados. Certamente algumas configurações ou microestados de S_t possuem valor inferior ou superior à média. As necessidades das realidades econômicas e sociais é que ditarão qual configuração será a apropriada para cada evento tributável.

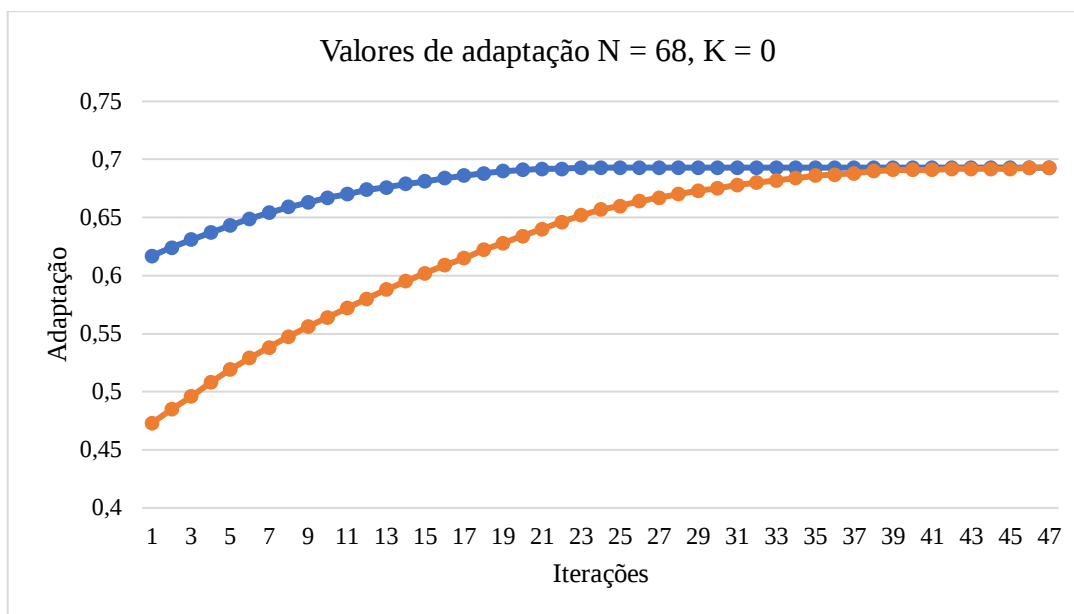
Talvez a configuração com o máximo valor de adaptação, mesmo possível, não possa existir juridicamente porque nenhuma atividade econômica atualmente existente comportaria aquela configuração de incidência tributária. Entretanto, todas as configurações de S_{t12} orbitam o mesmo valor médio de adaptação por força da sua rede de limitações conflitantes. A determinação dos microestados atuais de S_t pelas configurações econômicas e sociais é uma descrição da necessária interdependência entre esses sistemas. O estudo exclusivo do sistema normativo não pode ser realizado, aspirando-se soluções práticas, alijado do seu contexto econômico e social.

Os gráficos a seguir mostram o comportamento dos valores de adaptação para os extremos do sistema S_{t12} : $K = 0$ e $K = N - 1$ junto com o número médio de configurações vizinhas com maiores valores de adaptação a cada passo da caminhada adaptativa.

Inicia-se com o gráfico de $K = 0$. Observando-se os valores máximos (em azul) e mínimos (em vermelho) de adaptação para a primeira simulação das 100 realizadas constata-se o comportamento esperado de que todas as caminhadas serão capazes de chegar a um único valor ótimo para o sistema S_{t12} , o único pico dessa paisagem adaptativa.

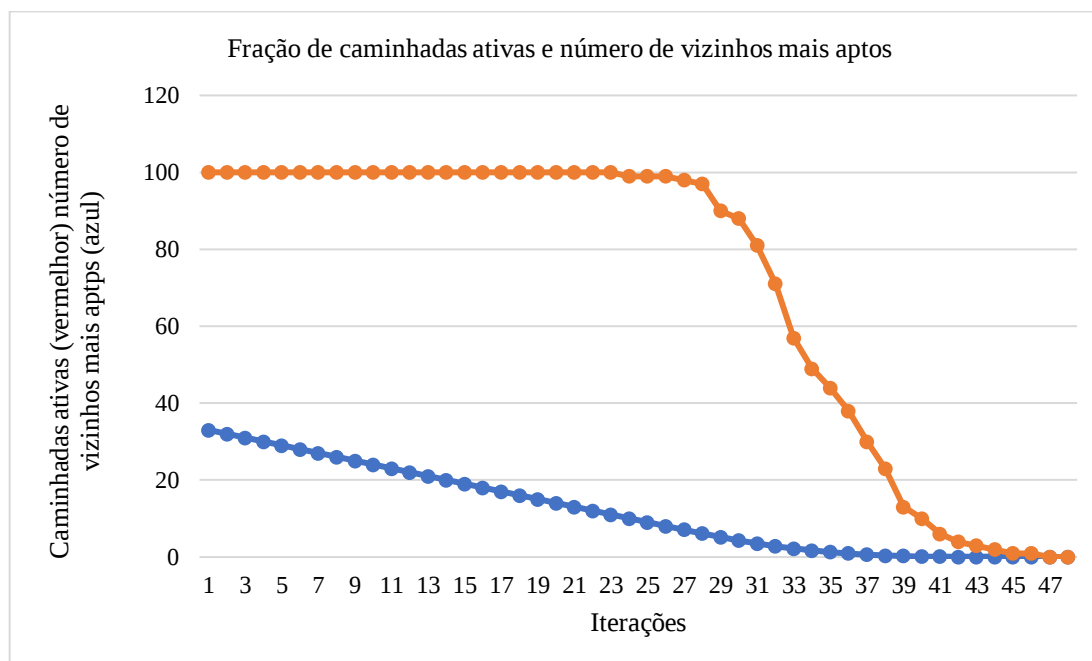
A convergência dos valores máximos e mínimos mostra que uma vez iniciada a caminhada adaptativa em 100 pontos randômicos da paisagem a cada passo da simulação, a caminhada adaptativa percorre elementos vizinhos com melhores valores de adaptação, escalando até o pico com o maior valor de adaptação da paisagem.

Gráfico 2 – Valores de adaptação K = 0.



Fonte: O autor, 2019.

Gráfico 3 – Iterações da caminhada adaptativa e vizinhos mais favoráveis.



Fonte: O autor, 2019.

O Gráfico 3 mostra o comportamento da caminhada adaptativa. Em vermelho, o número de caminhadas ativas e, em azul, a quantidade de vizinhos com valores de adaptação mais favoráveis. Assim, por 23 iterações, a totalidade das 100 caminhadas adaptativas estão ocorrendo simultaneamente no espaço de configurações de S_t . A partir da vigésima quarta interação as caminhadas começam a encontrar picos locais e sem conseguirem localizar

vizinhos com valores de adaptação mais favoráveis cessam completamente sua atividade. Em 47 interações todas as caminhadas adaptativas encontram-se em picos da paisagem de adaptação. Do Gráfico 2 se sabe que todos os valores de adaptação convergem, de forma que ao invés de vários picos locais, as caminhadas convergem para apenas um único pico, onde algumas caminhadas foram capazes de escalar mais rapidamente, enquanto outras precisaram de um número maior de iterações.²⁸⁰

Desafiando a intuição que se o sistema comporta uma única posição ótima e as caminhadas podem alcançar esse pico ótimo, encontra-se a catástrofe de $K = 0$ nas paisagens adaptativas. Mantendo-se K constante, pode-se variar dois parâmetros: o número de configurações possíveis e a velocidade de mutação das configurações. Se a média de mutações nos elementos do sistema é baixa, depois de um tempo razoavelmente longo, uma configuração variante mais adaptada surgirá e dominará o sistema, de forma que a população de caminhadas adaptativas que percorrem a paisagem de adaptação passa para configurações com valores de adaptação maiores. Com o passar do tempo, a população de caminhadas adaptativas encontra seu caminho pela paisagem de adaptação, chega ao pico de valores de adaptação e permanece nele. Por outro lado, se a média de mutações aumenta, e aparece um grande número de variantes de configurações com maiores e menores valores de adaptação em um curto intervalo de tempo, a população de caminhadas adaptativas irá se dispersar e buscar variantes mais aptas em todas as direções. A população que caminha pela paisagem de adaptação sofre um efeito de difusão mais rapidamente que a força de seleção atuando entre as variantes com maiores e menores valores de adaptação consegue levar a população a um pico da paisagem de adaptação.²⁸¹

Dessa forma, à medida que as mutações aumentam, a população de caminhadas adaptativas irá primeiramente se afastar do pico da paisagem $K = 0$. Se as mutações continuarem aumentando a população será dispersa para valores menores de adaptação, como se escorregasse do pico para sua base. E se a média de mutações aumentar ainda mais, a população será completamente dispersa em valores nos valores de adaptação mais baixos da paisagem, que em relação a uma paisagem $K = 0$ são muito próximos do valor mínimo dado a topologia plana da paisagem. Considere-se agora a outra possibilidade para paisagens com $K = 0$. Se a média de mutações é mantida constante, mas aumenta-se o valor de N , ou seja, aumentam-se

²⁸⁰ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 45-46.

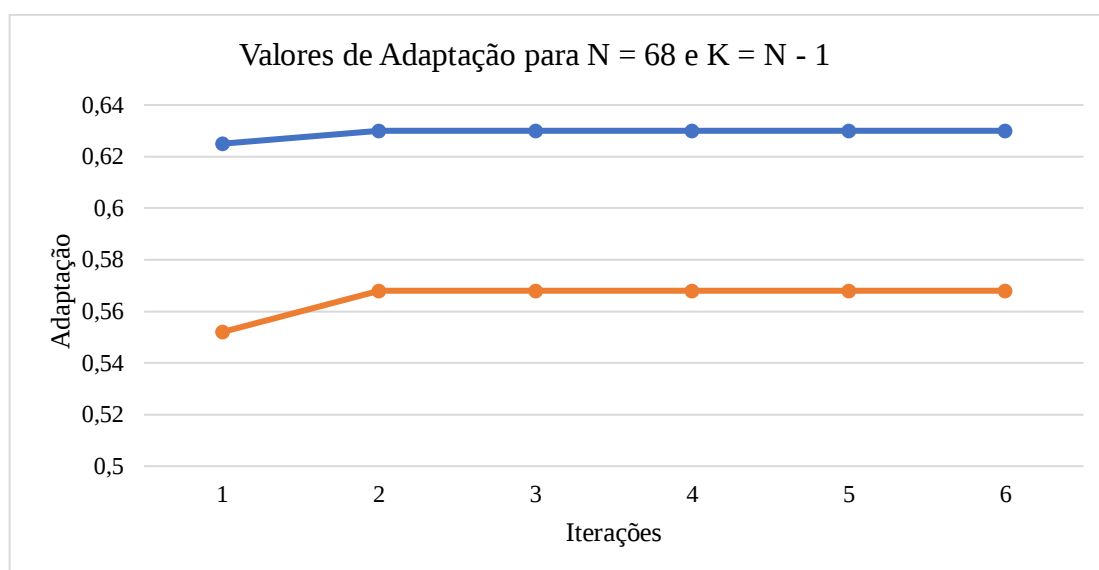
²⁸¹ KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe**: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity. New York: Oxford University Press. 1995, p. 101.

os bits passíveis de serem mudados a cada iteração em cada configuração de S_t , a mesma catástrofe acontecerá uma vez passado um limite de crescimento de N .²⁸²

Ou seja, a única forma possível de se aproveitar uma paisagem $K = 0$ seria forçar o sistema a manter-se com baixa taxa de mutação e sem o aumento de N , o que parece impossível em sistemas complexos. De fato, imaginar um sistema sociojurídico que possua $K = 0$ parece impraticável. As peculiaridades do sistema sociojurídico, como um sistema ordenado por meio de normas constitucionais fundamentais e passível de um processo de seleção forçado por meio de atos legislativos ou decisões judiciais torna sua classificação mais correta como um sistema semi-ordenado ou parcialmente ordenado, uma vez que existe auto-organização dinâmica do sistema, como discutido em relação ao surgimento das estruturas comunitárias na representação em redes do sistema tributário.

Essa ordenação inicial do sistema sociojurídico pelas diretrizes constitucionais criam hierarquias jurídicas que por si só forçam a consideração de $K > 0$. Mesmo sendo possível a criação de um sistema legal completamente livre de conexões entre as normas, seria necessário garantir que a taxa de mudança nessas normas fosse baixa e que a quantidade de possibilidades de variação de configurações não aumentasse, ou seja, o número de normas jurídicas teria que ser constante no sistema. Nenhuma dessas alternativas parece realista para os sistemas sociojurídicos conhecidos. A seguir, o conjunto de gráficos se refere aos valores de $S_{t(n-1)}$ ou $K = N - 1$.

Gráfico 4 – valores máximo e mínimos de adaptação para $n = 68$ e $K = N - 1$.



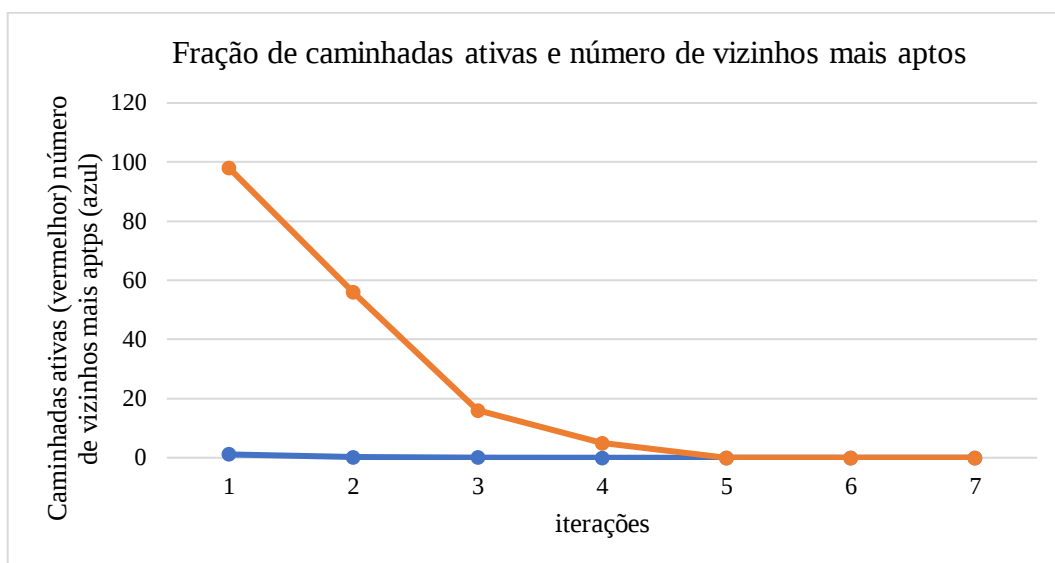
²⁸² KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity**. New York: Oxford University Press. 1995, p. 102-103.

Fonte: O autor, 2019.

Para essa configuração de S_t , como esperado, o número de iterações necessárias para que as caminhadas adaptativas encontrem seus pontos máximos é muito menor, e os valores máximos de adaptação encontrados não convergem, não existindo um único pico na paisagem. Em vez disso, divergem consideravelmente, refletindo uma paisagem de adaptação bastante acidentada, recortada por vales e picos, conforme apresentado o Gráfico 5.

O Gráfico 5 mostra uma caminhada curta, onde a fração de caminhadas adaptativas ativas decai bruscamente, pois as caminhadas ficam presas em picos com valores sub-ótimos em poucas iterações, como um resultado de uma paisagem completamente não relacionada, ou seja, em pouco tempo o sistema entra em um regime caótico.²⁸³

Gráfico 5 – iterações da caminhada adaptativa e número de vizinhos mais favoráveis



Fonte: O autor, 2019.

Combinando-se os Gráficos 4 e 5, pode-se visualizar uma paisagem completamente enrugada com valores medianos de adaptação. Nesse cenário, o sistema sociojurídico teria o máximo de limitações conflitantes entre suas normas jurídicas. Qualquer alteração, por mutação ou seleção, traria um resultado praticamente igual em vantagem adaptativa que qualquer outra mudança uma vez que a paisagem não comportaria qualquer caminhada adaptativa longa. Além

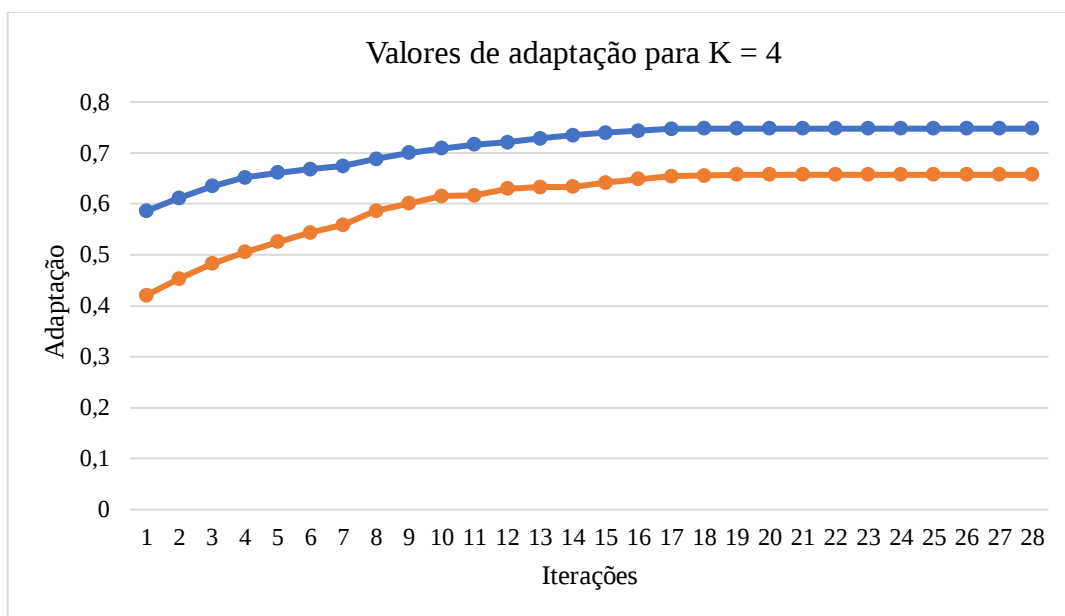
²⁸³ KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 45-46. p. 47-52.

disso todas as possíveis mudanças retornariam valores medianos de adaptação, as normas jurídicas não conseguiriam alcançar um bom desempenho de adaptação, independentemente da definição que se estabeleça para a adaptação jurídica.

No contexto do sistema tributário, se a adaptação fosse definida como uma medida de arrecadação, todas as configurações possíveis do sistema tributário nessa paisagem de adaptação retornariam arrecadação mediana, nunca atingindo o máximo possível de arrecadação devido às excessivas limitações impostas pelo valor máximo de K , sendo impossível aumentar a arrecadação de qualquer configuração do sistema tributário além do valor médio da paisagem.

O maior valor de adaptação, dentre os valores simulados para o sistema S_t , é encontrado para $K = 4$, os gráficos para essa configuração são os seguintes:

Gráfico 6 – Valores de adaptação para $K = 4$



Fonte: O autor, 2019.

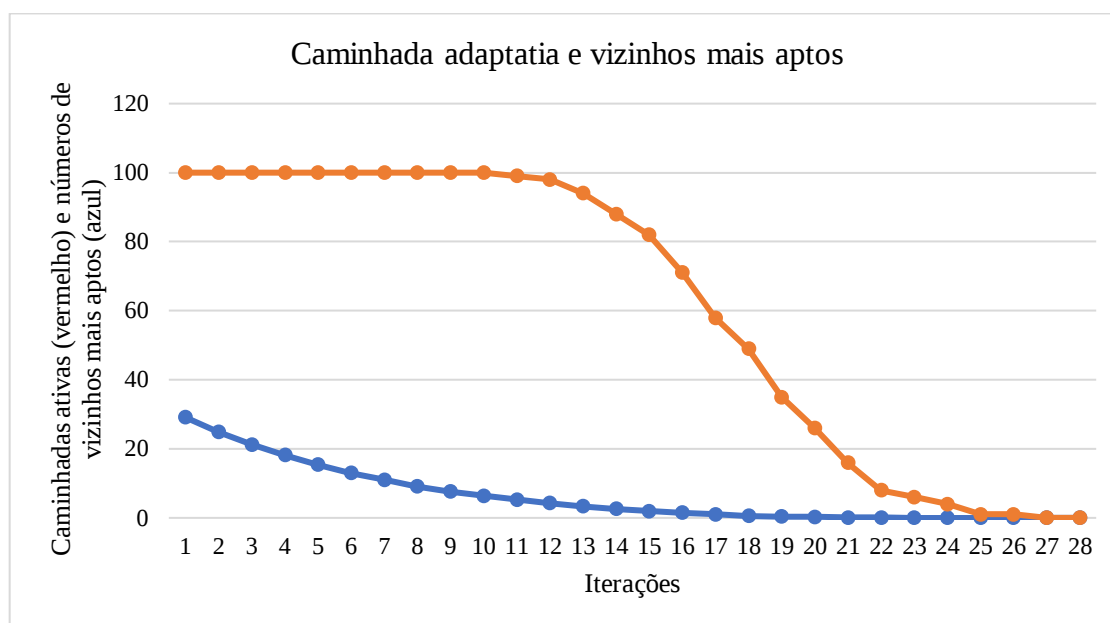
Os valores mínimos e máximos de adaptação não convergem, indicando a existência de mais de um pico nessa paisagem de adaptação, entretanto a diferença entre os valores de adaptação indica que a paisagem é bem menos acidentada que em $K = N - 1$ e os valores máximos de adaptação são maiores.

O número de iterações para que todas as caminhadas cessem é consideravelmente maior que para $K = N - 1$ e encontra-se próximo a um valor mediano de $K = 0$, ou seja, as caminhadas adaptativas não ficam imediatamente presas em picos com valores sub-ótimos na

paisagem e tampouco convergem para um único pico ótimos. A paisagem de $K = 4$ mostra-se com poucos picos abaixo ou próximos da média de adaptação (0,5), sendo a maioria dos picos ótimos com valores superiores as demais configuração de S_t para valores diferentes de K . Essa paisagem, entre os extremos da estagnação e do caos, mostra a configuração apontada por Ruhl como o ponto na fronteira do caos onde os sistemas complexos adaptativos prosperam.

Um sistema tributário que seja capaz de manter K próximo desse valor, para $N = 68$, encontraria esse ponto ideal de complexidade. Nota-se que as diferenças entre as variantes do sistema S_t (S_{t0} , S_{t4} , $S_{t(n-1)}$) encontram-se apenas no valor de K , já que manteve-se N constante, obedecendo o valor empiricamente estabelecido para o esse modelo do sistema tributário brasileiro. Todas as configurações de incidência tributária possíveis para S_{t0} podem ocorrer em S_{t4} ou em $S_{t(n-1)}$, mas a diferença nos valores de adaptação decorre exclusivamente dos processos de auto-organização e seleção decorrentes da rede de ligações epistáticas do sistema.

Gráfico 7 – Caminhada adaptativa e Vizinhos mais favoráveis.



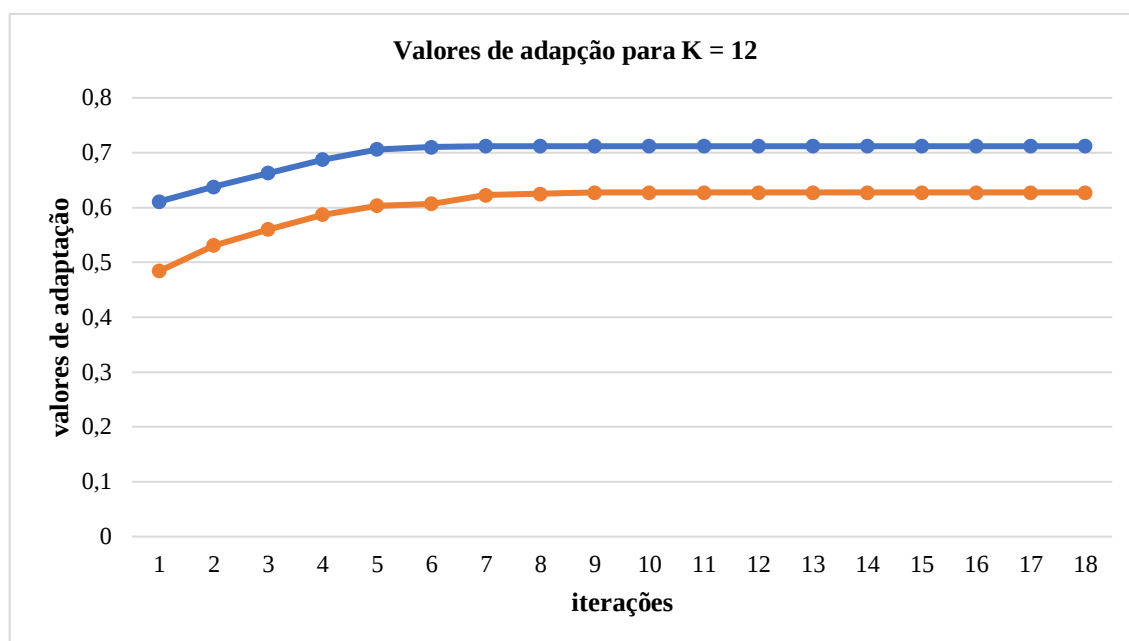
Fonte: O autor, 2019.

O Gráfico 7 mostra atividade completa (100 caminhadas ativas) por ao menos o dobro de iterações que para $K = N - 1$, indicando a presença de vizinhos com valores maiores de adaptação. As caminhadas não ficam rapidamente confinadas em posições sub-ótimas, e as posições com valores de adaptação menores em $K = 4$ correspondem a os valores dos picos máximos de adaptação encontrados para $K = N - 1$.

O valor de K encontrado empiricamente para o sistema tributário, no entanto, é 12 e se localiza no início da parte descendente do gráfico, onde os valores de adaptação degeneram para um valor médio à medida que K cresce e alcança valores máximos onde o sistema entra em um regime caótico. Como discutido anteriormente, o valor de adaptação pode ser interpretado de forma ampla e no caso do sistema tributário pode representar diversos conceitos, entretanto, os valores de adaptação vão refletir fundamentalmente a relação entre as conexões conflitantes do sistema.

O modelo para o sistema tributário brasileiro proposto possui $K = 12$, calculado a partir da coleta de dados empíricos para $N = 68$, e produz o conjunto de gráficos a seguir:

Gráfico 8 – valores de adaptação para $K = 12$.



Fonte: O autor, 2019.

O Gráfico 08 de adaptação apresenta curvas semelhantes ao visto para $K = 4$, os valores mínimos e máximos de adaptação não convergem (indicando mais de um pico de valor ótimo de adaptação), mas não mantêm grande distância, indicando menor variância entre os picos e vales da paisagem de adaptação. Os valores atingidos pelas curvas, no entanto, são menores que para $K = 4$, como esperado.

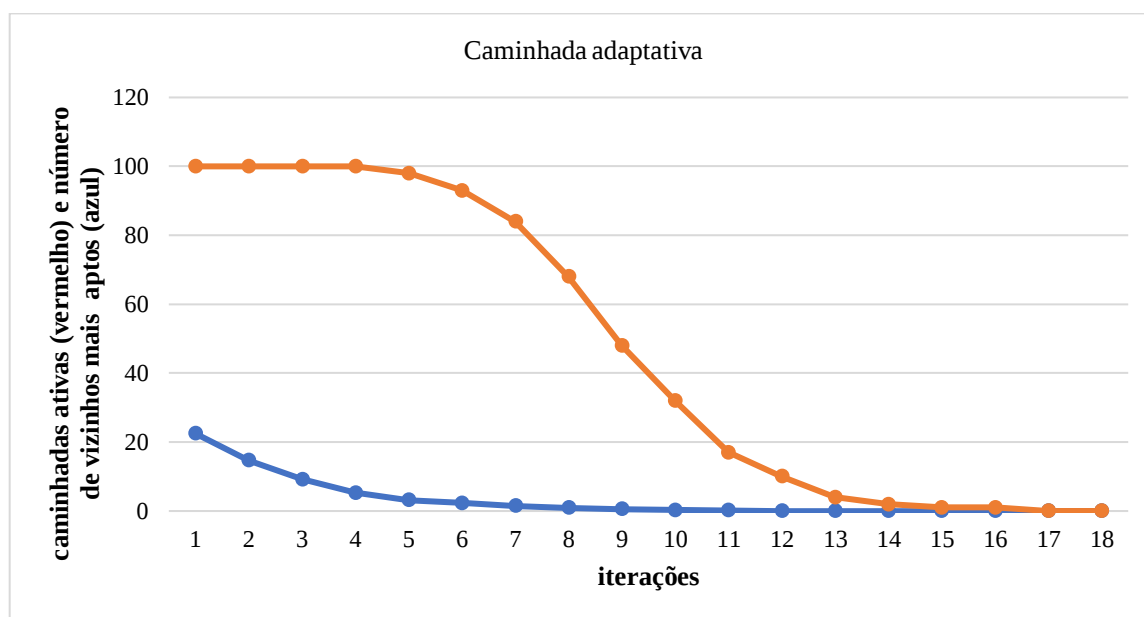
De fato, a curva de valores máximo de adaptação para o sistema S_{t12} alcança valores semelhantes à curva de valores de adaptação mínimos de S_{t4} . Em termos de paisagens de adaptação, grande parte dos picos ótimos de adaptação de S_{t12} equivalem aos vales de S_{t4} e

os picos de $S_{t_{12}}$ que ultrapassam esse valor, seriam pequenas elevações quando comparado com os picos da paisagem de S_{t_4} .

De fato, a curva de valores máximos de adaptação para o sistema $S_{t_{12}}$ alcança valores semelhantes à curva de valores de adaptação mínimos de S_{t_4} . Em termos de paisagens de adaptação, grande parte dos picos ótimos de adaptação de $S_{t_{12}}$ equivalem aos vales de S_{t_4} e os picos de $S_{t_{12}}$ que ultrapassam esse valor, seriam pequenas elevações quando comparados com os picos da paisagem de S_{t_4} .

O gráfico da caminhada adaptativa mostra que as caminhadas encontram seus pontos ótimos com maior rapidez, como é esperando de um N constante e um K crescente. Isso implica que as caminhadas exploram uma quantidade cada vez mais reduzida de configurações na paisagem de adaptação até encontrarem um ótimo local e ficarem confinadas em um pico da paisagem

Gráfico 9 – Caminhada adaptativa e vizinhos mais favoráveis.



Fonte: O autor, 2019.

Quanto mais rápido esses picos são encontrados pela caminhada, mais rugosa a paisagem e menores serão os picos, com valores progressivamente reduzidos de adaptação.

Novamente, é possível observar a acentuada diminuição de iterações à medida que K aumenta. Os dados sobre o tempo das caminhadas adaptativas e o correspondente número de configurações vizinhas mais aptas é relevante, pois indica a possibilidade de exploração da paisagem de adaptação. A medida que K cresce e as caminhadas tornam-se mais curtas, as

vantagens de estratégias de exploração do espaço das possibilidades de configurações do sistema rapidamente diminui.

Em termos sociojurídicos, utiliza-se a definição de K como as relações entre as normas tributárias estabelecidas pelos seus textos normativos. Tributos normativamente independentes uns dos outros produziriam um estado com uma adaptação tão baixa quanto se todos os tributos estivessem ligados a todos os outros. Ou seja, a busca por um sistema tributário com máxima adaptação não passa pela mera simplificação das relações entre os tributos, objetivando uma máxima independência entre eles. Mas, necessariamente, passa por um ponto ótimo de interdependências. Qualquer outro extremo estaria tendente ao limite de uma catástrofe da complexidade.²⁸⁴

Ainda, considerando que o sistema S_{t12} representa aspectos da complexidade tributária brasileira, observa-se que a forma mais efetiva de aumentar a adaptação do sistema tributário seria diminuir suas interdependências e não o número de tributos.

Se para S_{t12} houvesse uma drástica diminuição de tributos (N) sem uma correspondente diminuição das interdependências entre os mesmos, não apenas não se estaria diminuindo a complexidade tributária como se estaria aproximando o sistema de um perigoso regime caótico, onde nenhuma configuração seria superior em adaptação do que as possíveis configurações anteriores.

Por fim, deve-se considerar que o modelo NK discutido descreve apenas as relações de limitações conflitantes ao sistema tributário. Entretanto, um dos pontos fundamentais de uma teoria da complexidade jurídica é: não ser possível considerar apenas o sistema jurídico. O sistema NK como descrito até o momento considera as influências dos sistemas econômicos e sociais indiretamente, como sendo parcialmente responsáveis pelas limitações conflitantes representadas pelas conexões epistáticas refletidas nos valores de K calculados no modelo NK de paisagem de adaptação.

Por outro lado, uma vez definido o modelo NK, é possível descrever um modelo geral que trate de vários sistemas coevoluindo, denominado modelo NKC. Como já discutido nos capítulos 1 e 3, o modelo NKC é implementado com pequenas modificações do modelo NK, adicionando-se a variável E , para designar outras espécies de sistemas, e a variável C que descreve quantas ligações epistáticas existem entre as espécies de sistemas E descritos. Uma

²⁸⁴ RUHL, John B; RUHL JR, Harold J. The Arrow of the Law in modern Administrative States: using complexity theory to revel the diminishing returns and increasing risks the burgeoning of Law poses to Society. *U.C. Davis Law Review*. n. 405, pp. 407-481, p. 410, 1997.

vez estabelecidas essas novas variáveis, são possíveis simulações numéricas sobre a coevolução do sistema jurídico acoplado ao sistema econômico e ao sistema social, por exemplo.

Foram realizadas simulações numéricas por Kauffman para o modelo NKC, na qual reconheceu-se alguns padrões para o sistema. Em paisagens de adaptação coevolutivas existe um limite descrito pela relação $K = C \times E$. Para valores onde $K < C \times E$ os sistemas encontram o equilíbrio de Nash rapidamente e tornam-se estagnados. Para paisagens onde $K > C \times E$ os sistemas oscilam caoticamente por tempo indeterminado sem encontrar um equilíbrio de Nash. Em outras palavras, reencontra-se para um ecossistema de sistemas coevolutivos as catástrofes da complexidade descritas para o modelo NK postas nos extremos do sistema.²⁸⁵

A partir da observação dos resultados numéricos para diferentes valores de K, C e E, Kauffman descreve um padrão de comportamento em relação a K e C, de forma que quanto maior for C maior serão os valores de adaptação encontrados para valores proporcionalmente maiores de K. À medida que K aumenta em relação a C, o tempo para se alcançar um equilíbrio de Nash diminui, de forma que a medida que a rugosidade das paisagens de adaptação aumenta, em uma paisagem de adaptação NK com N fixo, os picos ótimos também aumentam em cada sistema que coevolui.²⁸⁶

Similarmente, quando K e C são fixos e N aumenta o tempo para se atingir o equilíbrio de Nash aumenta, possivelmente porque a densidade de picos com ótimos locais diminui em cada sistema que NK que coevolui. Sendo N uma medida geral da complexidade dos sistemas, os resultados numéricos encontrados por Kauffman sugerem um padrão geral para sistemas complexos adaptativos: alta complexidade possui vantagens, mas a essas vantagens se contrapõe um maior tempo para se atingir um equilíbrio de Nash.²⁸⁷

Assim, para um ecossistema com 3 espécies de sistemas (E) acoplados, como por exemplo, os sistemas jurídico, econômico e social, cada um com os mesmos valores de variáveis, por simplicidade, que o sistema jurídico ($N = 68$, $K = 12$), tendo uma única interdependência entre cada um ($C = 1$). Estabelecidos esses parâmetros, foi realizada uma única simulação do modelo NKC, lançando 5 conjuntos de ecossistemas (cada conjunto contém os 3 sistemas) acoplados e inicializados em configurações aleatórias de suas paisagens de

^{285 285} KAUFFMAN, Stuart A. **The Origins of Order**: Self-organization and selection in evolution. New York: Oxford University Press, 1993, p. 253.

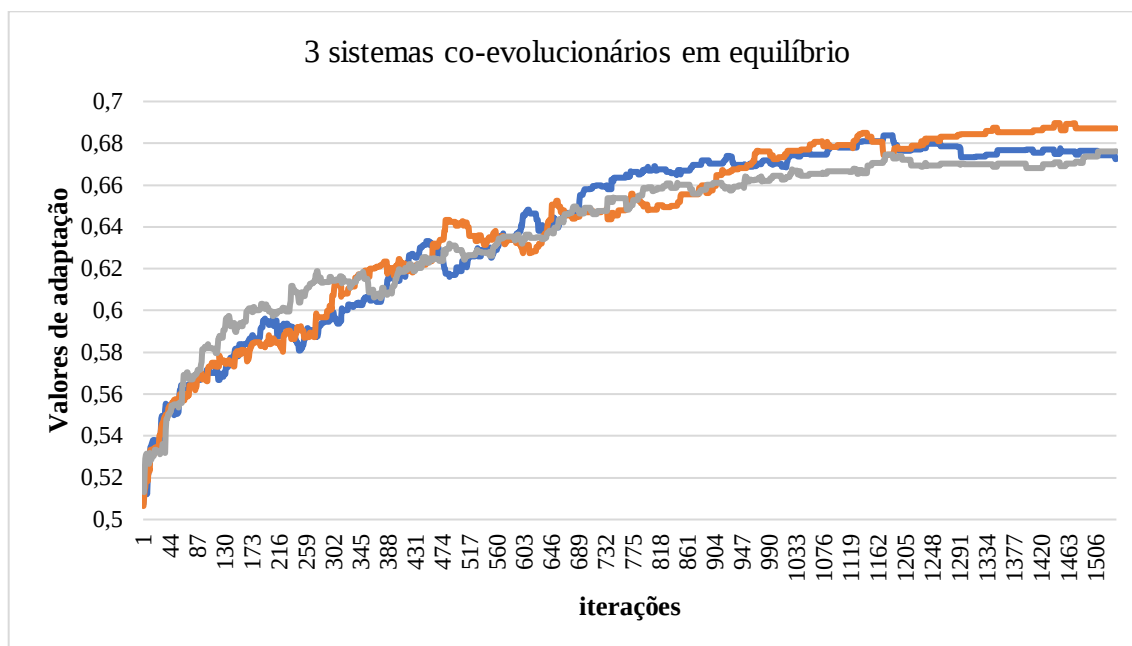
²⁸⁶ KAUFFMAN, Stuart A. **The Origins of Order**: Self-organization and selection in evolution. New York: Oxford University Press, 1993, p. 249.

²⁸⁷ KAUFFMAN, Stuart A. **The Origins of Order**: Self-organization and selection in evolution. New York: Oxford University Press, 1993, p. 246-247.

adaptação NK próprias. A evolução do valor de adaptação média desses ecossistemas simulados é mostrada no Gráfico 10, estabelecido o valor máximo de 2.000 iterações para a simulação.

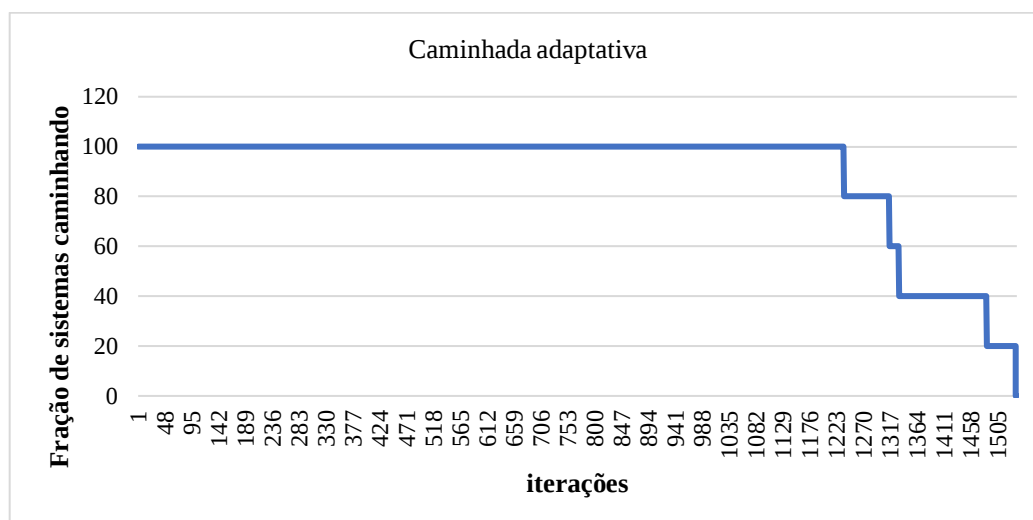
Como previsto para valores de $K > C \times S$, no presente caso $12 > (1 \times 3)$, os valores de adaptação dos 3 sistemas coevoluíram em direção a um equilíbrio de Nash, aproximadamente depois de 1513 iterações.

Gráfico 10 – valores de adaptação de 3 sistemas com $C = 1$, $K = 12$ e $N = 68$.



Fonte: O autor, 2019.

Gráfico 11 – fração de ecossistemas perfazendo a caminhada adaptativa em relação ao número de iterações da simulação.



Fonte: O autor, 2019.

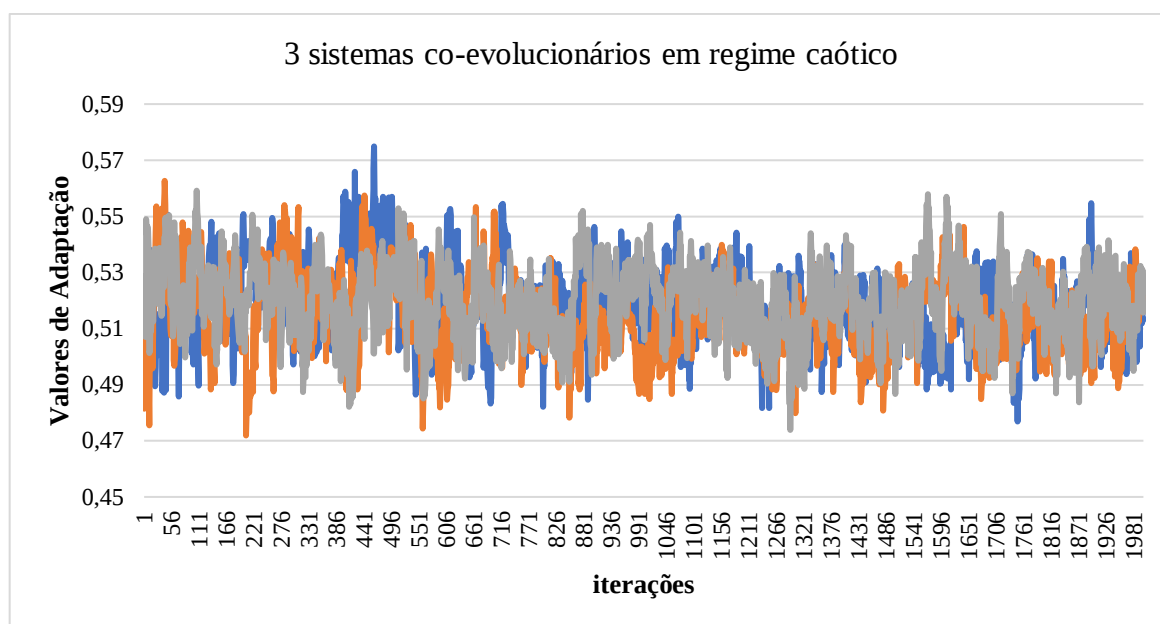
O gráfico 11 mostra a dinâmica da caminhada adaptativa descrevendo a proporção de ecossistemas explorando as possibilidades de configurações até o equilíbrio de Nash, quando cessam sua caminhada.

Todos os ecossistemas cessam sua busca por melhores configurações na iteração 1513, indicando que todos os ecossistemas encontraram um equilíbrio de Nash, mantendo o sistema estagnado naqueles valores.

Na sequência, realiza-se outra simulação mantendo-se os valores de N e K, atinentes ao modelo S_{t12} , mas definindo que cada sistema possui 20 interdependências com cada um dos outros dois sistemas, sendo, portanto, $C = 20$ para essa simulação.

Como previsto, para valores onde $K < C \times S$, no caso, $12 < (20 \times 3)$, a trajetória dos valores de adaptação apresenta comportamento caótico, oscilando sem conseguir encontrar um equilíbrio de Nash mesmo depois de quase 2.000 iterações.

Gráfico 12 – trajetórias de 3 sistemas com $K = 12$, $C = 20$ e $N = 68$.

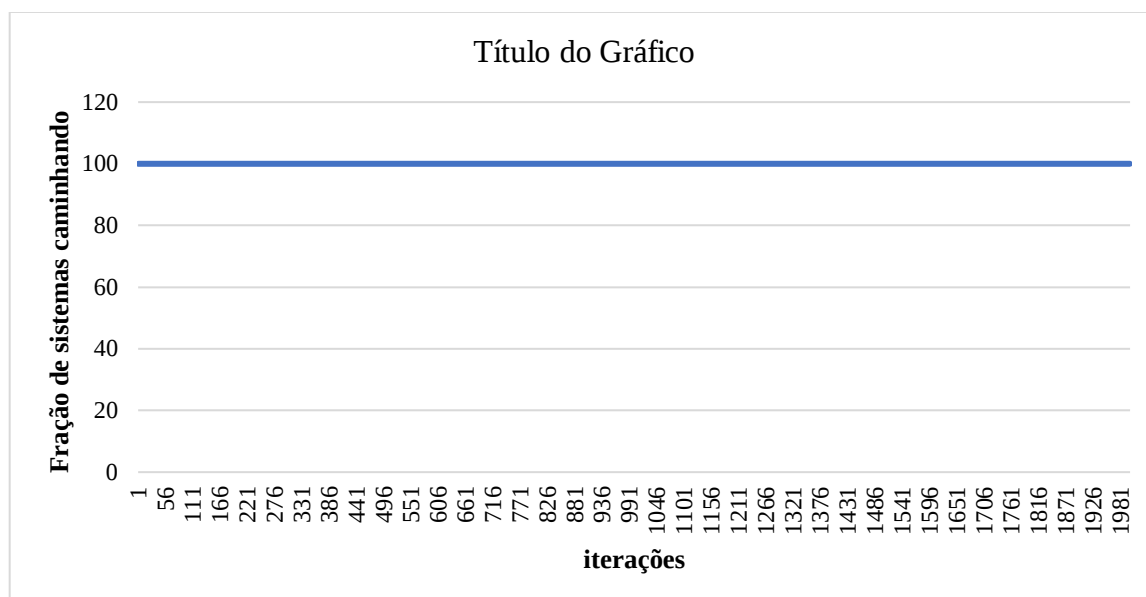


Fonte: O autor, 2019.

Passadas 1951 iterações, a totalidade dos ecossistemas está explorando as paisagens de adaptação em busca de valores máximos de adaptação mútuos.

De fato, mesmo depois de se repetir a presente simulação com os mesmos valores, mas permitindo 8.000 iterações os ecossistemas, não alcançaram qualquer equilíbrio de Nash, permanecendo oscilando no regime caótico.

Gráfico 13 – Fração de ecossistemas perfazendo a caminhada adaptativa em relação ao número de iterações da simulação.



Fonte: O autor, 2019.

O cotejo dos modelos NK e NKC mostram claramente o impacto da coevolução de sistemas complexos adaptativos. Se considerado isoladamente, o modelo NK descreve valores ótimos de adaptação para valores de K próximos de 3, independentemente dos valores de N. Entretanto, uma vez considerados sistemas coevolutivos, será possível encontrar valores maiores de K, no modelo NKC com valores de adaptação maiores em relação aos mesmos valores no modelo NK.

Esses resultados parecem razoáveis, uma vez que um CAS responde às pressões de outros sistemas, adaptando-se. Se as interdependências entre os sistemas aumentam, é razoável que a tolerância interna a valores maiores de K aumente, como uma resposta às reconfigurações internas que cada sistema realiza.

Assim, para o modelo do sistema tributário, considerando-se sua coevolução com outros dois sistemas, econômico e social, mantendo-se, por simplicidade, os mesmos valores de K e N para todos os 3 sistemas e admitindo-se $C = 15$, a distribuição média de valores máximos de adaptação seria (Tabela 8):

Observa-se a correção do padrão descrito por Kauffman, estabelecendo uma relação crescente de valores para K proporcional ao valor de C. Nas simulações com o modelo NK para

S_t o maior valor de adaptação obtido ocorreu com $K = 4$, enquanto em um cenário coevolutivo o sistema apresentaria melhor a adaptação com valores muito maiores de K .

Tabela 10 – Valores de adaptação NKC para K variável.

NKC – N = 68, C = 15	
K	Média da adaptação máxima para 2.000 iterações
4	0,563
8	0,565
12	0,566
16	0,570

Fonte: O autor, 2019.

O modelo NKC descreve uma influência dos outros sistemas no sistema jurídico em uma ordem de grandeza que torna necessária a consideração dessas dependências coevolutivas, confirmando a ideia de Ruhl de que uma ciência da complexidade jurídica necessariamente deve considerar os sistemas a que o sistema jurídico se encontra acoplado dinamicamente.

Tomando-se o modelo do sistema tributário (S_{t12}), para o modelo NKC, admitindo-se o mesmo número de ligações epistáticas entre os sistemas, estaria mais próximo de uma adaptação ótima que sua contraparte no modelo NK. E as estratégias tributárias para melhorar a adaptação do sistema teriam como foco aumentar as ligações epistáticas entre os tributos, aumentando-as ao invés de diminuí-las.

Que a dinâmica da tributação gera efeitos econômicos e sociais é um fato bem conhecido, como, por exemplo, no caso da explosão de fabricação e venda de motocicletas entre 1990 e 2014. A maior parte da produção de motocicletas entre 1990 e 2014 ocorria na Zona Franca de Manaus, que goza de incentivos fiscais. Além disso, haviam os efeitos da abertura do mercado nacional, ocorrida em 1991, o qual incentivou o aquecimento do mercado de consumo de bens e serviços. Aliado a isso, o governo passou a conceder incentivos à indústria automotiva nacional, aumento de créditos, diminuição de taxa de juros, ofertou para a população novas formas de consórcios e dilação dos prazos de pagamento. Como resultado, as vendas de motocicletas aumentaram expressivamente. Em contrapartida, o número de acidentes de trânsito envolvendo motocicletas e a ocupação de leitos em hospitais públicos de vítimas de acidentes aumentou significativamente no mesmo período. Essa conjuntura de fatores

econômicos, sociais e tributários é uma dinâmica de interações e influências mútuas que poderia ser descrita como a dinâmica de sistemas complexos adaptativos coevoluindo.²⁸⁸

Usualmente os impactos da dinâmica tributária em outros sistemas são percebidos posteriormente, quando ocorre suficiente acúmulo e divulgação de dados que podem ser relacionados à dinâmica do sistema tributário. Os modelos NK e NKC, como os demais métodos de análise de sistemas complexos, oferecem possibilidades de descrever e mensurar as relações complexas entre esses sistemas, estudar simulações da dinâmica do sistema sociojurídico, permitindo identificar novos padrões do sistema tributário e sua interação com outros sistemas. Estudos prospectivos podem ser realizados, e configurações de incidência tributária podem ser modelados e simulados. Os resultados obtidos podem ser confrontados com dados empíricos.

As possibilidades de aplicação dos modelos de paisagens de adaptação para uma melhor compreensão do sistema tributário, dinâmica e evolutivamente, devem ser consideradas quando se deseja enfrentar a complexidade tributária conhecendo e descrevendo com clareza o que ela é, como se forma e como pode ser usada para promover um melhor desempenho do sistema tributário e do sistema sociojurídico.

²⁸⁸ SCARPETTA, j.; GONÇALVES, O. O. Incentivos fiscais e o aumento de custos da saúde pública: o caso da - epidemia- de motocicletas no brasil. **Veredas do Direito**, vol. 12, pp. 227-255, 2016.

CONCLUSÃO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de pesquisar a complexidade tributária sob a perspectiva da ciência da complexidade. Partiu-se da premissa que o sistema jurídico regula sistemas complexos adaptativos como os sistemas social e econômico e, ao fazê-lo, tem sua dinâmica influenciada por eles. O próprio sistema jurídico, uma vez analisado sob a perspectiva das ciências da complexidade, apresenta características e padrões dinâmicos que foram relacionados a padrões e mecanismos próprios de um sistema complexo adaptativo (CAS), conforme descrito no capítulo 1, sugerindo que o sistema sociojurídico possui todas as características essenciais de um sistema desse tipo. Sendo possível descrever a dinâmica sociojurídica como um CAS, seu estudo e a análise dos fenômenos sociojurídicos poderiam ser feitos com os mesmos métodos utilizados para a pesquisa em sistemas complexos.

Um dos principais métodos de descrição de um CAS envolve o uso da teoria de redes. Descrever um sistema como uma rede significa descrever sua estrutura de relações. Descrever a topologia de relações de um sistema tem como primeiro passo a definição do próprio conceito de relação, o qual será usado para modelar a rede. Buscou-se um conceito de relações entre as normas tributárias que expressasse objetivamente a ligação entre os diversos tributos. Essa escolha recaiu sobre as referências diretas a elementos dos tributos entre os textos normativos. A escolha poderia ter sido por qualquer outra forma de relação entre as normas tributárias e qualquer escolha apresentaria limitações em relação a outras características. A fim de buscar uma forma objetiva de mapear as conexões entre os elementos normativos do sistema tributário, limitou-se a outras formas de ligação entre esses mesmos elementos jurídicos, como por exemplo, conexões realizadas na dinâmica das atividades econômicas empreendida pelo contribuinte, ou seja, buscar a relação entre os tributos a partir das relações econômicas sobre as quais incide.

Porém, a dinâmica de um CAS se forma de baixo para cima (*bottom up*), não sendo efetivas as descrições diretas de níveis superiores de hierarquia organizacional para níveis inferiores. Por esse motivo, as descrições de um CAS usualmente se iniciam dos elementos mais simples e básicos para os superiores, na medida que os padrões emergentes do sistema se formam. A forma que melhor reúne as características de simplicidade e objetividade dos elementos que formam a norma jurídica é o próprio texto legal.

Uma vez demonstrada a possibilidade de descrição do sistema tributário por esta forma, outras formas de descrição da rede complexa de relações tributárias devem ser buscadas

como um complemento ao nível de descrição anterior. De fato, características diferentes do sistema tributário poderiam ser melhor descritas por escolhas diferentes na representação das relações normativas.

Possivelmente, redes acopladas ou multiplex que reúnam as ligações por referências normativas à outra rede que estabeleça as ligações entre os diversos tributos e as atividades econômicas sobre as quais incidem poderia fornecer uma melhor descrição dos vários problemas de adimplemento tributário que as representações descritas nesse trabalho utilizando-se o modelo NK e NKC de paisagens adaptativas. Os métodos de análise de redes são mais adequados ao estudo de propriedades topológicas das redes, enquanto modelos de paisagens adaptativas são mais aptos a explorar a dinâmica de evolução e auto-organização de sistemas complexos, o que se objetivou nesta presente pesquisa.

Estabelecida a possibilidade de representação do sistema tributário como um sistema complexo adaptativo por meio de redes de interconexões, foi elegido o modelo NK(C) para ser aplicado aos dados coletados sobre as interconexões tributárias. O modelo de paisagens adaptativas descreve a dinâmica de evolução de um sistema por meio das limitações conflitantes das suas diversas interconexões. Aplicando o conceito de processo evolutivo ao sistema sociojurídico, as normas jurídicas poderiam sofrer mutações e serem selecionadas quando mais aptas. De fato, as normas jurídicas podem sofrer mutação, pois podem mudar como parte da atividade interpretativa, necessariamente valorativa, dos agentes do sistema sociojurídico. A mutação normativa então é selecionada e passa a replicar a mesma mutação para as outras normas da mesma espécie por meio da aplicação da interpretação mais apta para o momento.

As analogias com o processo biológico, entretanto, não podem ser integralmente tomadas, pois uma das principais conquistas da teoria da evolução, comparável à teoria da gravitação universal, é exatamente a prova da completa desnecessidade de um criador e organizador dos fenômenos naturais. Os processos jurídicos e os sistemas jurídicos, por outro lado, possuem organizadores e criadores na forma de suas leis constitucionais que estruturam e criam diretrizes para a dinâmica desses sistemas.

Nos sistemas sociojurídicos, a força de auto-organização de baixo para cima encontra a força de organização constitucional de cima para baixo, adicionando um nível de dificuldade para a análise da complexidade jurídica ausente na maioria dos sistemas complexos amplamente estudados. O tema de auto-organização sociojurídica é novo e pouco explorado, estando necessariamente ligado ao estudo da complexidade social em suas várias perspectivas,

especialmente ao estudo da emergência de regulações de conflitos sociais que ainda é uma área com poucos e recentes elementos teóricos quantitativamente descritos.

Por isso, propõe-se classificar os sistemas sociojurídicos como sistemas semi-auto-organizados ou parcialmente auto-organizados. Pois, embora as normas constitucionais sejam as normas diretoras da estrutura e dinâmica do sistema jurídico delas originado, a partir do início da dinâmica prevista constitucionalmente, as forças de auto-organização, atuando de baixo para cima, se farão presentes. Em algum momento, as mutações normativas e o processo de seleção causarão a emergência de estruturas jurídicas não previstas expressamente nas normas constitucionais, podendo originar padrões emergentes tão fortes que possam alterar as próprias normas constitucionais, textual ou interpretativamente.

O modelo de sistema tributário descrito por meio de uma rede de relações e interdependências proposto, baseando em dados empíricos, possibilitou a modelagem de paisagens de adaptação utilizando-se o modelo NK(C). Inicialmente, na representação em rede do sistema tributário, é possível observar elementos de auto-organização normativa na formação de comunidades nessa rede por ligações que não foram todas previamente previstas e planejadas pelo legislador. As reformas e inovações legais sucederam-se e dinamicamente formaram essas comunidades de referências legais. Certamente, outros padrões de emergência e comunidades normativas podem ser detectados, utilizando outros conceitos para definir as conexões entre os elementos do sistema tributário. Porém, mesmo partindo estritamente dos dados e modelos utilizados, ainda é possível apontar essa dinâmica de auto-organização visível na topologia básica da rede normativa tributária, indicando a clara emergência de padrões normativos.

Uma vez criada uma representação do sistema tributário brasileiro e tendo sido simulado por meio da implementação do modelo NK(C), os resultados obtidos mostraram que, para a representação usada, o sistema tributário brasileiro não se encontra na posição de máxima adaptação. Ao contrário, a princípio, a excessiva quantidade de interdependências entre os tributos coloca o sistema em um ponto descendente da curva de valores de adaptação para um sistema formado com os valores de NK coletados empiricamente. Ou seja, mesmo com um número elevado para N (68) a média das interdependências encontradas ($K = 12$) impede que configurações mais aptas, possíveis, possam ser encontradas para o sistema tributário. Em termos de política tributária, equivale a dizer que nenhuma inovação legislativa será capaz de melhorar a adaptação do sistema tributário, segundo a representação aqui adotada, se não levar em consideração a dinâmica das relações de interdependência entre eles.

Desta forma, confirma-se a proposição de Ruhl, descrita no primeiro capítulo, que a diminuição de normas jurídicas não implica necessariamente a diminuição da complexidade do sistema jurídico. A crença comum de que a complexidade pode ser combatida com a diminuição dos tributos baseia-se na ideia de que apenas a norma jurídica importa e que as únicas relações relevantes para a formação de estratégias tributárias seriam as relações de hierarquia normativa. No entanto, observou-se que as características da complexidade podem ser encontradas nas relações entre os elementos do sistema, e não nos elementos em si mesmo.

Embora tenha sido indicado que o valor de N seja uma métrica grosseira para a complexidade de um sistema (como visto no caso das paisagens de adaptação de $K = 0$) a diminuição do valor de N não causa necessária diminuição da complexidade. Se N for tomado como representando os tributos, um acréscimo de tributos aumentaria as possibilidades de configurações de cada microestado do sistema tributário (uma vez que se pode ter 2^N microestados ou configurações diversas para o sistema) e consequentemente a variedade de configurações do sistema. A diminuição de N , no entanto, não necessariamente implica uma diminuição da complexidade, pois não é possível afirmar que as mudanças em termos de conexões epistáticas e limitações conflitantes introduzidas pelo acréscimo do tributo ou existentes em razão dele serão retiradas com sua supressão considerando as adaptações realizadas a cada iteração da evolução do sistema.

Se o valor de K não sofrer redução em relação a diminuição de N , o sistema estará sendo levado a um regime caótico e não a uma simplificação estabilizadora do sistema tributário. Pois, uma vez diminuindo-se N , mantendo-se K constante, admitindo-se um estado inicial $N - 1 > K$, a diminuição de N aproximará o sistema de $K = (N - 1)$ e de um regime caótico onde qualquer mudança na dinâmica do sistema tributário poderia retornar resultados imprevisíveis e desproporcionais e qualquer tentativa de otimização do sistema tributário seria incapaz de apresentar valores de adaptação elevados.

O modelo NK simula indiretamente a influência de outros sistemas no sistema principal por meio dos valores de interdependências e contribuições de adaptação. Entretanto, aplicando-se modificações ao modelo NK para que comporte a simulação de coevolução de espécies diferentes de sistemas, foi simulada a coevolução do sistema tributário com o sistema econômico e social. Os valores obtidos empiricamente para o sistema tributário foram replicados para os outros dois sistemas, cujos valores são desconhecidos.

Encontra-se além do escopo do presente trabalho a busca de maneira empírica de codependências entre as outras duas espécies de sistema. Possivelmente, o número de

interdependências entre sistemas (C) é variável e não é possível afirmar que os valores escolhidos para o sistema econômico e social são aproximação de valores reais. Entretanto, considerando que o objetivo da simulação do modelo NKC era observar o comportamento do sistema NK formulado para o sistema tributário brasileiro, os valores para os outros sistemas poderiam ser escolhidos randomicamente sem perda de generalidade para a análise do padrão de comportamento dos valores para o sistema NK tributário.

Simulado o modelo NKC para valores variáveis de K, observou-se que, uma vez considerada a coevolução entre sistemas diversos, a resposta em valores de adaptação em relação a K difere da obtida no modelo NK. Os valores para o modelo NK tributário, como já observado, encontram-se decrescendo na curva de adaptação com N constante. Os mesmos valores, entretanto, calculados para NKC, mostraram-se em um padrão ascendente de adaptação. A relação entre C e K em paisagens coevolutivas permite que K seja maior, proporcionalmente a C, do que em uma paisagem NK. As conexões coevolutivas permitem que as conexões intra-sistêmicas sejam maiores, como uma forma de adaptação interna dos sistemas a demanda de codependências externas de outros sistemas.

Em um modelo coevolutivo é possível que o valor de adaptação do sistema tributário brasileiro apresente-se melhor posicionado do que quando analisado por meio da paisagem de adaptação do modelo NK. A marcante diferença nos resultados de adaptação entre os modelos NK e NKC destacam a imprescindibilidade de se considerar a ampla rede de interligações que forma um sistema sociojurídico e não apenas as relações formais do ordenamento jurídico. Além disso, reforça a necessidade de uma melhor compreensão da dinâmica complexa do sistema tributário. Os níveis de autorganização nos sistemas sociais e econômico são possivelmente maiores que no sistema jurídico.

A organização social e econômica planejada, ou as estruturas hierárquicas descendentes desses sistemas, são majoritariamente determinadas por regras jurídicas sobre atividades econômicas permitidas e proibidas, formas e processos de controle social e manutenção da ordem econômica e social. Portanto, o estudo dos padrões de complexidade do sistema sociojurídico não são apenas interessantes como novas formas de descrever e compreender sua própria dinâmica, mas como novas formas de compreender estratégias jurídicas que levem em consideração as propriedades e características da dinâmica da complexidade.

Considerando um modelo coevolutivo e retomando a ideia de simplificação tributária, não cabe mais apenas o questionamento se a diminuição de ligações epistáticas (K)

no sistema pode acompanhar a diminuição de tributos (N), mas, como a supressão de tributos (N) ou ligações (K) influenciam os outros sistemas e como todos os sistemas se adaptam a essa mudança. Sabe-se que é possível obter maior adaptação com um maior valor de K que acompanhe em magnitude C. Possivelmente, não é possível estabelecer valores exatos para as interdependências econômicas e sociais com relação a todo sistema tributário, mas parece plausível modelar as redes tributárias e econômicas envolvida em um imposto, por exemplo. Dessa forma, seria possível encontrar elementos que mostrem melhores formas de otimização desse subsistema tributário. Posteriormente, pode-se adicionar informações sobre os impactos sociais relativos àquele imposto formando um terceiro nível descritivo da rede de relações sociojurídicas que apontem melhores informações para políticas públicas e os efeitos extrafiscais do tributo.

Além disso, representações que permitam simulações computacionais permitem o estudo dinâmico de configurações jurídicas cujos resultados só poderiam ser discutidos depois de anos de aplicação e reverberação econômica e social. Por mais aproximado que o modelo seja apresentado, se a escolha dos elementos essenciais foi adequada, as grandes perturbações e os contornos das grandes dinâmicas poderá ser testado. Em relação a políticas públicas, isso significaria economia de recursos e eficiência contraprestacional para o contribuinte.

Durante todo o trabalho de descrição do sistema tributário brasileiro como um sistema complexo adaptativo, a obtenção de resultados numéricos e sua discussão, não se trouxe conceitos jurídicos sobre as normas tributárias envolvidas, além daqueles básicos para a delimitação dos elementos que formariam o sistema. Isso marca uma característica fundamental da aplicação da ciência da complexidade em ciências humanas, que deve ser sempre destacado. A complexidade é o estudo das relações entre os elementos dos sistemas complexos. A discussão valorativa sobre os elementos conectados (os tributos e as normas jurídicas que os formam) permanece intocada. Possivelmente, as novas descrições, as novas informações e perspectivas trazidas pelo estudo da complexidade tributária trarão novos questionamentos sobre conceitos jurídicos existentes. Entretanto, encontrar padrões emergentes de comportamentos e padrões de estratégias utilizadas pelos agentes do sistema sociojurídico permanece como o objetivo do estudo da complexidade. A necessária demanda por dados empíricos que a pesquisa em complexidade jurídica requer pode propiciar o elemento de fortalecimento de uma ciência do Direito e do Direito Tributário mais ampla, interdisciplinar e marcada por um saudável empirismo.

REFERÊNCIAS

- ALSTON, Lee; MUELLER, Bernardo. Towards a More Evolutionary Theory of Property Rights. **Iowa Law Review**, vol. 100, n. 6, pp. 2255-2273, 2015.
- ATALIBA, Geraldo. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: RT, 1968.
- ÁVILA, Humberto. **Sistema Constitucional Tributário**. São Paulo: Saraiva, 2012.
- AVILA, Humberto. **Teoria dos Princípios**: da definição à aplicação dos princípios jurídicos. São Paulo: Malheiros, 2011.
- BABCOCK, Hope M. Democracy's Discontent in a complex world: Can avalanches, sandpiles, and finches optimize Michael Sandel's civic republican community? **Georgetown Law Journal**, vol. 85, pp. 2085–2103, 1996.
- BAR-YAM, Yaneer. **Dynamics of Complex Systems**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1997.
- BEINHOCKER, Eric. Robust adaptive strategies. **MIT Sloan Management Review**, vol. 40, n. 3, pp. 95–106, 1999.
- BEINHOCKER, Eric. **The origins of wealth**. Boston, Harvard Business School Press, 2006.
- BOCANET, Anca; PONSIGLIONE, Cristina. Balancing exploration and exploitation in complex environments. **VINE**, vol. 42, n. 1, pp. 15–35, 2012.
- BOMMARITO, Michael James; KATZ, Daniel Martin. A Mathematical Approach to the Study of the United States Code. **Physica A**, Vol. 389, p. 4192-4200, mar. 2010. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1578094>> Acesso em 21 jul. 2018.
- BOMMARITO, Michael James; KATZ, Daniel Martin; ISAACS SEE, Jillian. An Empirical Survey of the Population of United States Tax Court Written Decisions. **Virginia Tax Review**, Vol. 30, No. 2, mar. p. 523-557, 2011. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1441007>>. Acesso em 21 jul. 2018.
- BOMMARITO, Michael James; KATZ, Daniel Martin; ZELNER, Jon *et al.* Distance Measures for Dynamic Citation Networks. **Physica A**, Vol. 389, p. 4201-4208, 2010. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1472037>> Acesso em: 21 jul. 2018.
- BOMMARITO, Michael James; KATZ, Daniel Martin; ZELNER, Jon. Law as a Seamless Web? Comparison of Various Network Representations of the United States Supreme Court Corpus (1791-2005). **Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence and Law**. jun. 2009. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1419525>> Acesso em: 21 jul. 2018.
- BRASIL. **PEC 222/2000**. Proposta de Emenda à Constituição. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=14570>> Acessada em: 02 de out. 2018.

BRASIL. **PEC 559/2002**. Proposta de Emenda à Constituição. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=59119>> Acessada em: 02 de out. 2018.

BRUSH, Eleanor R.; KRAKAUER, David C.; FLACK, Jessica C. Conflicts of interest improve collective computation of adaptive social structures. **Science Advances**, vol. 4, n. 1, p. 01-10, 2018.

BYRNE, David S. **Interpreting Quantitative Data**. London: Sage Publications, 2002.

CARRAZZA, Roque Antônio. **Curso de Direito Constitucional Tributário**. São Paulo: Malheiros, 2011.

CARVALHO, Paulo de Barros. **Curso de Direito Tributário**. São Paulo: Saraiva, 1999.

CHANG, Myong-Hun; HARRINGTON, J.E. Centralization vs. decentralization in a multi-unit organization: A computational model of a retail chain as a multi-agent adaptive system. **Management Science**, vol. 46, n. 11, pp. 1427–1440, 2000.

CHARBONNEAU, Paul. **Complexity: a modeling handbook**. Princeton: Princeton University Press, 2017.

CHERVEN, Ken. **Network Graph Analysis and Visualization with Gephi**. Birmingham: Packt Publishing, 2013.

CHETTIPARAMB, Angelique. Metaphors in complexity theory and planning. **Planning Theory**, n.5, vol.1, pp. 71–91, 2006.

CILLIERS, Paul. **Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems**, Abingdon: Routledge, 1998.

CORMEN, Thomas H.; LEISERSON, Charles E.; RIVEST, Ronald L. et al. **Introduction to Algorithms**. Cambridge: The MIT Press, 2009.

DERVITSIOTIS, Kostas N. Navigating in turbulent environmental conditions for sustainable business excellence. **Total Quality Management and Business Excellence**, vol. 15, n 5–6, pp. 807–827, 2004.

DERVITSIOTIS, Kostas N. On becoming adaptive: The new imperative for survival and success in the 21st century. **Total Quality Management and Business Excellence**, vol. 18, n. 1–2, pp. 21–38, 2007. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=1368909> > Acesso em 25 de jun. 2018.

ERDI, Peter. **Complexity Explained**. Springer: Kalamazoo, 2008.

FAGGINI, Marisa; PARZIALE, Anna. A New Perspective for Fiscal Federalism: The NK Model. **Journal of Economic Issues**, vol. 50, n.4, pp. 1069-1104, 2016.

FERRAZ JUNIOR, Tércio Sampaio. **Introdução ao estudo do Direito: técnica, decisão, dominação**. São Paulo: Atlas, 2003.

FIEGUTH, Paul. **An Introduction to Complex Systems: Society, Ecology, and Nonlinear Dynamics**. Springer: Ontario, 2017.

FOLLONI, A. Complexidade, direito e normas jurídicas como emergências. **Direito & Praxis**, vol. 08, n. 2, pp. 905-94, 2017.

FORTNOW, Lance. **The Golden Ticket: P, NP, and the search for the impossible**. Princeton: Princeton University Press, 2013.

FRENKEN, Koen. **Modelling the organization of innovative activity using the NK-model**. 2001. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/1c25/7971bf0f708a3fe2ddec9179022c46cdeeb5.pdf> Acesso em: 18 ago. de 2018.

GARRIDO, Nicolas. The desirable organizational structure for evolutionary firms in static landscapes. **Metroeconomica**, vol. 55, n. 2–3, pp. 318–331, 2004.

GEISENDORF, Sylvie. Searching NK Fitness Landscapes: On the Trade Off Between Speed and Quality in Complex Problem Solving. **Computational Economics**, 2010, vol. 35, n. 4, pp. 395-406, 2010.

GELL-MANN, Murray. **The quark and the jaguar: adventures in the simple and complex**. New York: W. H. Freeman and Company, 1994.

GERRITS, Lasse; MARKS, Peter. **Understanding Collective Decision Making: A Fitness Landscape Model Approach**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2017.

GERRITS, Lasse; MARKS, Peter. How fitness landscapes help further the social and behavioral sciences. **Emergence: Complexity and Organization**, vol.16, n.3, pp. 1–17, 2014.

GEYER, Robert.; PICKERING, Steve. Applying the tools of complexity to the international realm: From fitness landscapes to complexity cascades. **Cambridge Review of International Affairs**, vol. 24, n. 1, pp. 5–26, 2011.

GIRARD, Monique.; STARK, David. Hierarchies of value in Manhattan based new media firms. **Theory, Culture and Society**, vol. 20, n. 3, pp. 77–105, 2003.

GLEICK, James. **Chaos: making a new science**. New York: Penguin Books, 1988.

GOLDREICH, Oded. **P, NP e NP-Completeness: The basics of computational complexity**. New York: Cambridge University Press, 2010.

GROSS, Claudius. **Complex and Adaptive Dynamical Systems: a primer**. Springer: Berlim, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentals of physics**. New York: Wiley. 2014.

HARADA, Kiyoshi. **Direito financeiro e tributário**. São Paulo: Atlas, 2016.

HOLAND, John H. **Hidden order: how adaption builds complexity**. New York: Addison-Wesley, 1995.

HOLLAND, John H. **Signals and boundaries: building blocks for complex adaptive systems**. Cambridge: MIT Press, 2012.

HOLLAND, John. **Complexity: A very short introduction**. New York: Oxford University Press, 2014.

HORDIJK, Wim. Correlation Analysis of Coupled Fitness Landscapes. **Emergence, complexity and Computation**, v. 6, p. 369-393, p. 378, 2014.

JACKSON, Matthew.; O. **Social and Economic Networks**. Princeton University Press: New York, 2008.

JACOMY M.; VENTURINI T.; HEYMANN, S. et al. **ForceAtlas2: A Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software**. PLoS ONE, v.9, n. 6, e98679. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0098679>> Acesso em 08 out. 2018.

KATZ, Daniel Martin; BOMMARITO, Michael James. Measuring the Complexity of the Law: The United States Code. **Artificial Intelligence and Law**, v. 337, ago. 2013. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2307352>>, acesso em: 21 jul. 2018.

KATZ, Daniel Martin; STAFFORD, Derek K. Hustle and Flow: A Social Network Analysis of the American Federal Judiciary. **Ohio State Law Journal**, Vol. 71, No. 3, 2010. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1103573>>. Acessado em 21 jul. 2018.

KATZ, Daniel Martin; STAFFORD, DEREK K.; PROVINS, Eric A. Social Architecture, Judicial Peer Effects and the 'Evolution' of the Law: Toward a Positive Theory of Judicial Social Structure. **Georgia State Law Review**, Vol. 23, out. 2008. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1277282>> Acesso em: 21 jul. 2018.

KAUFFMAN, Stuart A.; WEINBERGER, Edward D. The NK model of rugged fitness landscapes and its application to maturation of the immune response. **Journal of Theoretical Biology**, vol. 141, n. 2, 1989, pp. 211 245.

KAUFFMAN, Stuart A.; WEINBERGER, Edward D.; PERELSON, Alan. S. Maturation of the immune response via adaptive walks on affinity landscapes. In **Theoretical Immunology I: Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1988.

KAUFFMAN, Stuart A. **Humanity in a Creative Universe**. New York: Oxford University Press, 2016.

KAUFFMAN, Stuart A. **Reinventing the sacred: a new view of science, reason, and religion**. New York: Basic Books, 2010.

KAUFFMAN, Stuart A. **The Origins of Order**: Self-organization and selection in evolution. New York: Oxford University Press, 1993.

KAUFFMAN, Stuart. and MACREADY, W. Technological evolution and adaptive organizations: Ideas from biology may find applications in economics. **Complexity**, vol.1, n.2, 1995.

KAUFFMAN, Stuart. **At Home in the Universe**: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity. New York: Oxford University Press. 1995.

KAUFFMAN, Stuart. **The Origins of Order**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

KAUFFMAN, Stuart; JOHNSON, Sonke. Coevolution to the edge of chaos: Coupled fitness landscapes, poised states, and coevolutionary avalanches. **Journal of Theoretical Biology**, vol. 149, n. 4, pp. 467–505, 1991.

KAUFFMAN, Stuart; LEVIN, Simon. Towards a general theory of adaptive walks on rugged landscapes. **Journal of Theoretical Biology**, vol. 128, n. 1, pp.11–45, 1987.

KAUFFMAN, Stuart; WEINBERGER, Edward. The NK model of rugged fitness landscapes and its application to maturation of the immune response. **Journal of Theoretical Biology**, vol.141, pp. 211–245, 1989.

KELSEN, Hans. **Introduction to the problems of Legal Theory**: a translation of the first edition of the *Reine Rechtslehre* or Pure Theory of Law. Trad. Bonnie Litschewski Paulson e Stanley Paulsdon. Oxford: Clarendon Press, 1992.

KIMURA, Motoo. Evolutionary rate at the molecular level. **Nature**, n. 217, pp.624–626, 1968.

KLIJN, E. H. Complexity theory and public administration: What's new? **Public Management Review**, n. 10, vol.3, pp. 299–317, 2008.

KNUDSEN, Thorbjorn; STIEGLITZ, Nils. **Taming the Antagonistic Forces of Exploration and Exploitation**. 2007, Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=996798>> Acesso em: 21 nov. de 2018.

KOBOUROV, Stephen G. Force-Directed Drawing Algorithms. In TAMASSIA, Roberto. **Handbook of Graph Drawing and Visualization**. New York: Chapman and Hall, 2013.

LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Metaphors We Live By**. Chicago: Chicago University Press, 2003.

LANT, Cristopher. L.; RUHL, John B.; KRAFT, Steven. E. The Tragedy of Ecosystem Services. **BioScience** n.58, v.10, p.969-974, nov. 2008. Disponível em:< <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1641/B581010>> Acesso em 11 ago. 2018.

LAWLER, Gregory F. **Random Walk: A Modern Introduction**. New York: Cambridge University Press, 2010.

LEE, Deishin.; VAN DEN STEEN, Eric. Managing know-how. **Management Science**, vol. 56, n. 2, pp. 270–285, 2010.

LEWES, George. H. **Problems of Life and Mind**. London: Trübner, 1875.

LLOYD, Seth. Measures of complexity: a non-exhaustive list. **IEEE Control Systems Magazine**, 21, v. 4. 2001. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/939938/>> Acesso em: 10 jun. 2018.

LORENZ, Eduard N. **Predictability: Does the Flap of a Butterfly's wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?** Disponível em: <http://static.gymportalen.dk/sites/lru.dk/files/lru/132_kap6_lorenz_artikel_the_butterfly_effect.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2018.

LORENZ, Eduard N. **The essence of chaos**. London: UCL Press, 1995.

MCKELVEY, Bill. Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes. **Organization Science**, vol. 10, n. 3, pp.294-321, 1999.

MILLER, John H.; PAGE, Scott E. **Complex Adaptive Systems: An Introduction to computational models of social life**. Princeton University Press: Princeton, 2007.

MIRITELLO, Giovanna. **Temporal Patterns of Communications in Social Networks**. London: Springer, 2013.

MITCHELL, Melanie. **Complexity: a guided tour**. New York: Oxford Press, 2009.

NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. New York: Oxford University Press, 2010.

NICOLIS, Gregoire; NICOLIS, Catherine. **Foundations of Complex Systems: Nonlinear dynamics, statistical physics, information and prediction**. World Scientific Publishing: Singapore, 2007.

PAGE, Scott E. **The Model Thinker: what you need to know to make data work for you**. New York: Basic Books, 2018.

PAGE, Scott. **Diversity and Complexity**. Princeton University Press: Princeton, 2011.

PASCALE, Richard T. **Surfing the edge of chaos**. Disponível em: <<http://sloareview.mit.edu/article/surfing-the-edge-of-chaos/>> Acesso em 21 nov. de 2018.

POST, David G.; JOHNSON, David R. Chaos prevailing on every continent: Towards a new theory of decentralized decision-making in complex systems. **Chicago-Kent Law Review**, vol. 73, pp. 1055-1099, 1998.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **Order out of chaos**. Bantam: New York, 1984.

RIVKIN, Jan W.; SIGGELKOW, Nicolaj. Organizational sticking points on NK landscapes. **Complexity**, vol. 7, n. 5, pp. 31–43, 2004.

RUHL, John B. The Fitness of Law: using Complexity Theory to Describe the Evolution of Law and Society and Its Practical Meaning for Democracy. **Vanderbilt Law Review**, vol. 49, mar. 1996a.

RUHL, John B. Complexity theory as a paradigm for the dynamical law-and-society system: A wake-up call for legal reductionism and the modern administrative state. **Duke Law Journal**, vol. 45, n. 5, pp. 849–928, 1996b.

RUHL, John B. Thinking of environmental Law as a Complex Adaptive System: how to clean up the environment by making a mess of environmental Law. **Houston Law Review**. v.34, n.4, p.935-1000, 1997a. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=1354166>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B; RUHL JR, H. J. The Arrow of the Law in modern Administrative States: using complexity theory to reveal the diminishing returns and increasing risks the burgeoning of Law poses to Society. **U.C. Davis Law Review**. n.405, p. 407-481, 1997b. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1354089>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. Thinking of Mediation as a Complex Adaptive System. **Brigham Young University Law Review**, 1997c. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1354171>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. Sustainable Development: A Five-Dimensional Algorithm for Environmental Law. **Stanford Environmental Law Journal**, Vol. 18, p. 31-63, 1999a.

RUHL, John B., The Co-Evolution of Sustainable Development and Environmental Justice: Cooperation, then Competition, then Conflict. **Duke University Law & Policy Forum**, Vol. 9, p.161-185, 1999b. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=1354736>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B.; SALZMAN, James. E. Mozart and the Red Queen: The Problem of Regulatory Accretion in the Administrative State. **Georgetown Law Journal**, n.59, v. 91, p. 757-849, 2003. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=321922>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. Regulation by Adaptive Management - is it Possible? **Minnesota Journal of Law, Science & Technology**, n. 151, v.7, p. 22-57, 2006. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=719501> > Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. Law's Complexity - A Primer. **Georgia State University Law Review Symposium Issue**, No. 313, p.885-912, jun. 2008. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1153514>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. General Design Principles for Resilience and Adaptive Capacity in Legal Systems: Applications to Climate Change Adaptation Law. **North Carolina Law Review**, No. 464, p. 1374-1400, 2011. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=1694187>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. Panarchy and the Law. **Ecology and Society**, v.17, n.3, 2012. Disponível em: < <https://www.ecologyandsociety.org/vol17/iss3/art31/>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B. Managing Systemic Risk in Legal Systems. **Indiana Law Journal** n.13-1, v.89, p.560-602, 2014. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2212212>> Acesso em 25 de jun. 2018.

RUHL, John B.; KATZ, Daniel Martin. Measuring, Monitoring, and Managing Legal Complexity. **Iowa Law Review**, n.15-1, v.101, p.191-243, fev.2015. Disponível em: < <https://ssrn.com/abstract=2566535>> Acesso em 25 de jun. 2018.

SAMOILENKO, Sergay. Fitness landscapes of complex systems: Insights and implications on managing a conflict environment of organizations, **Emergence: Complexity and Organization**, vol.10, n. 4, pp. 38–45, 2008.

SAYAMA, Hiroki. **Introduction to the modeling and analysis of Complex Systems**. New York: Open SUNY, 2015.

SCARPETTA, J.; GONÇALVES, O. O. Incentivos fiscais e o aumento de custos da saúde pública: o caso da -epidemia- de motocicletas no brasil. **Veredas do Direito**, vol. 12, pp. 227-255, 2016.

SHUBIK, Martin. Game Theory, Complexity, and Simplicity Part II: Problems and Applications. **COMPLEXITY**, v.3, n.3, p. 36-45, dez. 1998. Disponível em: < <https://www.santafe.edu/research/results/working-papers/game-theory-complexity-and-simplicity-part-ii-prob> > Acesso em 11 ago. 2018.

SIGGELKOW, Nicolaj.; LEVINTHAL, Daniel. Temporarily divide to conquer. **Organization Science**, vol. 14, n. 6, pp. 650–669, 2003.

SINHA, Kingshuk K.; VAN DE VEN, Andrew H. Designing Work Within and Between Organizations. **Organization Science**, vol. 16, n. 4, pp. 389-408, 2005.

SMITH, Thomas A. The Web of Law, **San Diego Law Review**. n.44, v.309, p. 324–328, 2007. Disponível em: < https://digital.sandiego.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=lwps_econ> Acesso em 13 de ago. 2018.

SORNETTE, Didier. **Critical Phenomena in Natural Sciences: chaos, fractals, self-organization and disorder. Concepts and tools**. Springer: Berlin, 2006.

STEEN, Maarten. **Graph Theory and Complex Networks: An Introduction**. Berlin: MVS Press, 2010

STONE, James. **Information Theory: A tutorial introduction**. New York: Setbel Press, 2015.

STROGATZ, Steven. H. **Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering**. Massachusetts: Perseu Books, 1994.

STROGATZ, Steven. **SYNC: how order emerges from chaos in the Universe, Nature, and Daily Life**. New York: Hyperion, 2003.

SZIDAROVSKY, Ferenc. **Game Theory and Its Applications**. Tokyo: Springer, 2016.

THURNER, Stefan.; HANEL, Rudolf.; KLIMEK, Peter. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. Oxford University Press: Nova York, 2018.

URRY, J. Climate change, travel and complex futures. **British Journal of Sociology**, vol. 59, n. 2, pp. 261–279, 2008.

VIDGEN, Richard.; PADGET, Julian. Sendero: An Extended, Agent-Based Implementation of Kauffman's NKCS Model. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, vol. 12, n. 4, pp. 01-13, 2009.

VIEIRA, José Roberto. **A Noção de Sistema no Direito**. Revista da Faculdade de Direito da UFPR, v. 33, p. 62, 2000.

WALDROP, M. Mitchell. **Complexity: the emerging science at the edge of the order and chaos**. New York: Touchstone, 1992.

WEAVER, Warren. Science and Complexity. **American Scientist**, v. 36, p. 536-44, 1948. Disponível em: < <https://philpapers.org/rec/WEASAC> > Acesso em 20 de jan. 2018.

WEINBERGER, Edward D. NP Completeness of Kauffman's N-K Model: a Tuneably Rugged Fitness Landscape. **SFI Working Papers**, 1996, Disponível em: < [https://www.santafe.edu/research/results/working-papers/np-completeness-of-kauffmans-n-k-model-a-tuneably->](https://www.santafe.edu/research/results/working-papers/np-completeness-of-kauffmans-n-k-model-a-tuneably-) Acesso em: 10 jul. de 2018.

WHITT, Richard S. Adaptive policymaking: Evolving and applying emergent solutions for U.S. communications policy. **Federal Communications Law Journal**, vol. 61, n. 3, pp. 483–589, 2009.

WILENSKY, Uri.; RAND, William. **An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo**. The MIT Press: Cambridge, 2015

WRIGHT, Sewall. Evolution in Mendelian populations. **Genetics**, n.16, pp. 97–159, 1931.

WRIGHT, Sewall. The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution, in **Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics**, pp. 356–366, 1932.

ANEXO A – TRIBUTOS E SUAS INTERLIGAÇÕES

A tabela 11 descreve os dispositivos legais analisados, em relação a cada tributo, e as relações encontradas segundo o protocolo de análise descrito na página 79. A primeira coluna traz a numeração dos tributos, a segunda coluna “tributos origem” traz o nome do tributo, a legislação consultada e a sigla adotada para designar o tributo nesse trabalho. A segunda coluna “conexões”, fornece o dispositivo legal textualmente citado que permitiu estabelecer as ligações entre os tributos ou um resumo do que nele encontra-se disposto, com a respectiva referência legal entre parênteses. A coluna “tributos destino” contém as siglas dos tributos para os quais foi encontrada referência analisando-se a legislação atinente aos “tributos origem”. Em relação a coluna “tributos destino”, as siglas estão agrupadas em dois índices: o primeiro índice (1.) refere-se ao primeiro nível do protocolo de busca, admitindo apenas referências expressas nos dispositivos legais, o segundo índice (2.) refere-se ao segundo nível do protocolo de buscas e inclui referências a fatos geradores e bases de cálculo. Se o fato gerador ou a base de cálculo remeter a outro dispositivo legal procede-se como em (1.), se a base de cálculo ou fato gerador for comum a vários tributos, todos os tributos da lista que compartilham os mesmos elementos serão indicados.

Tabela 11 – Descrição dos dispositivos legais analisados

N	Anexo I		
	Tributo 01	Conexões	Tributo 02
01	Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante AFRMM Lei10.893/2004	Art. 11. O pagamento do AFRMM, acrescido da, será efetuado pelo contribuinte antes da autorização de entrega da mercadoria correspondente pela Secretaria da Receita Federal do Brasil. (...) Art. 14. Ficam isentas do pagamento do AFRMM as cargas: (...)	(1.) MERCANTE, (2.) IE, II

		c) bens exportados temporariamente para outro país e condicionados à reimportação em prazo determinado (Lei 10.893/2004) Art. 37. Fica instituída a Taxa de Utilização do MERCANTE.	
02	Contribuição à Comissão Coordenadora da Criação do Cavalo Nacional CCCCN Lei 7.291/1984 Decreto 3000/99	A CCCCCN e a CSP são os únicos encargos fiscais, parafiscais e previdenciários que incidem sobre as entidades turfísticas (art. 11, §3º da Lei 7.291/1984) Estão sujeitos à incidência do imposto na fonte, à alíquota de quinze por cento, os prêmios pagos aos proprietários e criadores de cavalos de corrida (art. 679 do Decreto 3000/99).	(1.) IRPF, CST
03	Contribuição a Direção de Portos e Costas CDPC Lei 5.461/1968	As contribuições de que tratam o art. 1º do Decreto-lei número 6.246, de 5 de fevereiro de 1944 (contribuições ao SENAI) e o art. 23 da Lei nº 5.107, de 13 de setembro de 1966 (revogada pela Lei nº 7.839, de 1989; que por sua vez, foi revogada pela Lei nº 8.036, de 1999 que dispõe sobre o FGTS) arrecadadas das empresas particulares, estatais, de economia mista e autárquicas, quer federais, estaduais ou municipais, de navegação marítima, fluvial ou lacustre; de serviços portuários; de dragagem e de administração e exploração de portos, serão destinadas à aplicação nas atividades ligadas ao ensino profissional marítimo, a cargo da Diretoria de Portos e Costas do Ministério da Marinha, de acordo com a Lei nº 1.658, de 4 de agosto de 1952. (art. 1º Lei 5.461/1968).	(1.) CSENAI, CFGTS

04	Contribuição ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT CIDE-Roy Lei 10.168/2000 e Decreto 4.195/2002	Redução da alíquota do IR (art. 2º-A e 2º-B da Lei 10.168/2000)	(1.) IRPJ
05	Contribuição ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, também chamado "Salário Educação" CFNDE Decreto 6.003/2006, Lei 9.424/96, Lei 9.766/98	Art. 200. A contribuição do empregador rural pessoa física, em substituição à contribuição de que tratam o inciso I do art. 201 e o art.202, e a do segurado especial, incidente sobre a receita bruta da comercialização da produção rural, é de: (...) Art. 201. A contribuição a cargo da empresa, destinada à seguridade social, é de: I - vinte por cento sobre o total das remunerações pagas, devidas ou creditadas, a qualquer título, no decorrer do mês, aos segurados empregado e trabalhador avulso, além das contribuições previstas nos arts. 202 e 204; II - vinte por cento sobre o total das remunerações ou retribuições pagas ou creditadas no decorrer do mês ao segurado contribuinte individual; Art. 202. A contribuição da empresa, destinada ao financiamento da aposentadoria especial, nos termos dos arts. 64 a 70, e dos benefícios concedidos em razão do grau de incidência de incapacidade laborativa decorrente dos riscos ambientais do trabalho corresponde à aplicação dos seguintes percentuais, incidentes sobre o total da remuneração paga, devida ou creditada a qualquer título, no decorrer do mês, ao segurado empregado e trabalhador avulso (Decreto 6.003/2006).	(1.) GIL-RAT (2.) CFNDE, CINCRA, GIL-RAT, CFGTS, CSP, FUNRURAL

06	Contribuição ao Funrural FUNRURAL Lei 8.540/1992; Lei 8.212/1991 e Lei 13.606/2018	Art. 22A. A contribuição devida pela agroindústria, definida, para os efeitos desta Lei, como sendo o produtor rural pessoa jurídica cuja atividade econômica seja a industrialização de produção própria ou de produção própria e adquirida de terceiros, incidente sobre o valor da receita bruta proveniente da comercialização da produção, em substituição às previstas nos incisos I e II do art. 22 desta Lei, é de: I - dois vírgula cinco por cento destinados à Seguridade Social; II - zero vírgula um por cento para o financiamento do benefício previsto nos arts. 57 e 58 da Lei no 8.213, de 24 de julho de 1991, e daqueles concedidos em razão do grau de incidência de incapacidade para o trabalho decorrente dos riscos ambientais da atividade. (Lei 8.212/1991) Utilização de créditos de prejuízo fiscal e de base de cálculo negativa da CSLL (art. 8º da Lei 13.606/2018). Redução a zero das alíquotas do IR, CSLL, PIS/PASEP e COFINS, sobre a receita auferida pelo cedente com a cessão de créditos de prejuízo fiscal e de base de cálculo negativa da CSLL para pessoas jurídicas controladas, controladoras ou coligadas. (art. 39, da Lei 13.606/2018).	(1.) IRPJ, CSLL, COFINS, PIS/PASEP, SENAR, GIL-RAT
07	Contribuição ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária CINCRA Lei 2.613/1955; Decreto-lei n. 1.146/70 e à Lei Complementar n. 11/71	Direcionamento de parte da receita ao FUNRURAL (art. 1º do Decreto-lei n. 1.146/70); Dispensa das contribuições para os Serviços Sociais da Indústria (SESI) ou do Comércio (SESC) e Serviços Nacionais de Aprendizagem Industrial	(1.) CSESI, CSESC, CSENAI, CSENAC, ITR.

		(SENAI) ou do Comércio (SENAC) (art. 2º, §1º do Decreto-lei n. 1.146/70) Lançamento e arrecadação com o ITR (art. 5º, §2º, do Decreto-lei n. 1.146/70) Art 2º A contribuição instituída no " caput " do artigo Decreto-lei n. 1.146/70: 6º da Lei número 2.613, de 23 de setembro de 1955, (...) sendo devida sobre a soma da folha mensal dos salários de contribuição previdenciária dos seus empregados pelas pessoas naturais e jurídicas, inclusive cooperativa, que exerçam as atividades abaixo enumeradas.	
08	Contribuição ao Serviço Brasileiro de Apoio a Pequena Empresa (Sebrae) CSEBRAE Lei 8.029/1990	Lei 8.029/1990, art. 8º, §3º, ligação com as contribuições do sistema S, via remissão ao art. 1º do Decreto-Lei nº 2.318/1986.	(1.) CSENAC, CSENAI, CSESI, CSESC (2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
09	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Comercial CSENAC Decreto-Lei No 8.621/1946	Para o custeio dos encargos do SENAC, os estabelecimentos comerciais cujas atividades, de acordo com o quadro a que se refere o artigo 577 da Consolidação das Leis do Trabalho, estiverem enquadradas nas Federações e Sindicatos coordenados pela Confederação Nacional do Comércio, ficam obrigados ao pagamento mensal de uma, contribuição equivalente a um por cento sobre o montante da remuneração paga à totalidade dos seus empregados. (art. 4º, Decreto-Lei No 8.621/1946).	(2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
10	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado dos Transportes	Composição das rendas para manutenção do SEST e SENAT se dará pelas atuais contribuições	(1.) CSENAI, CSESI, SEST

	CSENAT Lei 8.706/1993	compulsórias das empresas de transporte rodoviário, calculadas sobre o montante da remuneração paga pelos estabelecimentos contribuintes a todos os seus empregados e recolhidas pelo Instituto Nacional de Seguridade Social, em favor do Serviço Social da Indústria - SESI, e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, que passarão a ser recolhidas em favor do Serviço Social do Transporte - SEST e do Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte - SENAT, respectivamente;(art. 7º, I da Lei 8.706/1993).	(2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
11	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Industrial CSENAI Lei 4.048/1942	Art. 4º Serão os estabelecimentos industriais das modalidades de indústrias enquadradas na Confederação Nacional da Indústria obrigados ao pagamento de uma contribuição mensal para montagem e custeio das escolas de aprendizagem. § 1º A contribuição referida neste artigo será de dois mil réis, por operário e por mês. (art. 4º da Lei 4.048/1942) Direcionam as contribuições do SENAI e FGTS para o Fundo Aeroviário (FAER) (Art, 1º da Lei 1.305/1974)	(1.) CFGTS (2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
12	Contribuição ao Serviço Nacional de Aprendizado Rural CSENAR Lei 8.315/1991	Art. 3º Constituem rendas do Senar: I - Contribuição mensal compulsória, a ser recolhida à Previdência Social, de 2,5% (dois e meio por cento) sobre o montante da remuneração paga a todos os empregados pelas pessoas jurídicas de direito privado, ou a elas equiparadas, que exerçam atividades A incidência da contribuição não será cumulativa com as contribuições destinadas ao Serviço	(1.) CSNAI, CSENAC (2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP

		Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (Senac), prevalecendo em favor daquele ao qual os seus empregados são beneficiários diretos. (Art. 3º, <i>caput</i> e § 1º Lei 8.315/1991).	
13	Contribuição ao Serviço Social da Indústria CSESI Lei 9.403/1946	Art. 3º (...) § 1º A contribuição referida neste artigo será de dois por cento (2 %) sobre o montante da remuneração paga pelos estabelecimentos contribuintes a todos os seus empregados. O montante da remuneração que servirá de base ao pagamento da contribuição será aquele sobre o qual deva ser estabelecida a contribuição de previdência devida ao instituto de previdência ou caixa de aposentadoria e pensões, a que o contribuinte esteja filiado. (Lei 9.403/1946).	(2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
14	Contribuição ao Serviço Social do Comércio CSESC Lei 9.853/1946	Os estabelecimentos industriais enquadrados na Confederação Nacional da Indústria (artigo 577 do Decreto-lei n.º 5. 452, de 1 de Maio de 1943), bem como aqueles referentes aos transportes, às comunicações e à pesca, serão obrigados ao pagamento de uma contribuição mensal ao Serviço Social da Indústria para a realização de seus fins. A contribuição referida neste artigo será de dois por cento (2 %) sobre o montante da remuneração paga pelos estabelecimentos contribuintes a todos os seus empregados. O montante da remuneração que servirá de base ao pagamento da contribuição será aquele sobre o qual deva ser estabelecida a contribuição de previdência devida ao instituto de previdência ou caixa de aposentadoria e pensões, a	(2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP

		que o contribuinte esteja filiado. (art. 3º <i>caput</i> e §1º da Lei 9.853/1946).	
15	Contribuição ao Serviço Social do Cooperativismo CSESCOOP Decreto 3.017/1999.	Instituída em substituição as contribuições da mesma espécie ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI; Serviço Social da Indústria - SESI; Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial - SENAC; Serviço Social do Comércio - SESC; Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte - SENAT; Serviço Social do Transporte - SEST e Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR (art. 12, I, do Decreto Lei 3017/1999)	(1.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSENAC, CSENAR, CSENAT, CSEST (3.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
16	Contribuição ao Serviço Social dos Transportes CSEST Lei 8.706/1993	Composição das rendas do SEST e SENAT pelas atuais contribuições compulsórias das empresas de transporte rodoviário, calculadas sobre o montante da remuneração paga pelos estabelecimentos contribuintes a todos os seus empregados e recolhidas pelo Instituto Nacional de Seguridade Social, em favor do Serviço Social da Indústria - SESI, e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, que passarão a ser recolhidas em favor do Serviço Social do Transporte - SEST e do Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte - SENAT, respectivamente (art. 7º, I, Lei 8.706/1993)	(1.) CSESI, CSENAI (2.) CSENAI, CSESI, CSESC, CSEBRAE, CSENAC, CSENAR, CSEST, CSENAT, SESCOOP
17	Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico Combustíveis CIDE-Comb Lei 10.336/2001	Dedução de valores no PIS/PASEP e COFINS (art. 8º da Lei 10.336/2001)	(1.) CPIS/PASEP, COFINS
18	Contribuição ao Seguro Acidente de Trabalho (SAT) ou Contribuição do Grau de Incidência de Incapacidade	incide sobre o sobre o total das remunerações pagas ou creditadas (art. 22, II da Lei 8.212/91).	

	Laborativa decorrente dos Riscos Ambientais do Trabalho GIL-RAT Lei n. 8.212/91 e Decreto no 6.957/2009		(2.) CFNDE, CINCRA, GIL-RAT, CFGTS, CSP, FUNRURAL
19	Contribuição para a Assistência Social e Educacional aos Atletas Profissionais CFAAP Lei n. 9.615/1998, Decreto 6.297/2007, revogado pelo Decreto nº 7.984/2013.	Incide sobre salário mensal, nos termos do contrato do atleta profissional pertencente ao Sistema Brasileiro do Desporto, a serem pagos mensalmente pela entidade de prática desportiva contratante (art. 57, Lei n. 9.615/1998)	
20	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública Emenda Constitucional COSIP Art. 149-A da CF		
21	Contribuição para o Desenvolvimento da Indústria Cinematográfica Nacional CONDECINE Art. 32 da Medida Provisória 2228-1/2001 e Lei 10.454/2002	Prevê abatimento no IR em razão de investimento em projetos cinematográficos nacionais (art. 3º da Lei 10.454/2002).	(1.) IRPJ
22	Contribuição para o Fomento da Radiodifusão Pública (telefonia) CFRP Lei 11.652/2008	Lei 11.652/2008: Art. 32. Fica instituída a Contribuição para o Fomento da Radiodifusão Pública, com o objetivo de propiciar meios para a melhoria dos serviços de radiodifusão pública e para a ampliação de sua penetração mediante a utilização de serviços de telecomunicações. § 1 A Contribuição é devida pelas prestadoras dos serviços constantes do Anexo desta Lei, e o seu fato gerador é a prestação deles	

23	Contribuição para o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço CFGTS Lei Complementar no 110/2001 Lei n. 8.036/90	Lei Complementar no 110/2001: “Art. 2º Fica instituída contribuição social devida pelos empregadores, à alíquota de cinco décimos por cento sobre a remuneração devida, no mês anterior, a cada trabalhador, incluídas as parcelas de que trata o art. 15 da Lei no 8.036, de 11 de maio de 1990.”	(2.) CFNDE, CINCRA, GIL-RAT, CFGTS, CSP, FUNRURAL
24	Programa de Integração Social (PIS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) CPIS/PASEP Lei complementar 07/1970 e 08/1970, Lei n. 10.637/2002	1. Não integram a base de cálculo as receitas decorrentes de transferência onerosa a outros contribuintes do ICMS (Art. 1º, § 3º, VII, Lei n. 10.637/2002). 2. O contribuinte da contribuição para o PIS/Pasep é a pessoa jurídica que auferir as receitas a que se refere o art. 1º (Art. 4º da Lei n. 10.637/2002). 3. A contribuição para o PIS/Pasep não incidirá sobre as receitas decorrentes das operações de exportação de mercadorias para o exterior (Art. 5º, I da Lei n. 10.637/2002). 4. A pessoa jurídica integrante do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) poderá optar por regime especial de tributação, relativamente à contribuição para o Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep) e à Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins). (Art. 5º, I da Lei n. 10.637/2002).	(1.) IR, ICMS, IE, COFINS
25	Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta CPRB Lei 12.546/2011	Substituição tributária nos termos do art. 7º da Lei no 12.546/2011, e da Medida Provisória 669/2015, mediante alteração dos dispositivos da Lei no 12.546/2011, tornando o regime substitutivo facultativo para o contribuinte	

26	Contribuição sobre a Receita de Concursos de Prognósticos CRCP Decreto n. 3.048/99	Receita Líquida (total da arrecadação) ou a Receita Bruta (movimento global de apostas) do concurso de prognósticos (art. 212, §3º I e II)	(2.) TFSBC
27	Contribuição Social Adicional para Reposição das Perdas Inflacionárias do FGTS – CSA-FGTS Lei Complementar 110/2001	1. Vincula-se ao FGTS (art. 1º da Lei Complementar 110/2001) 2. Direccionam as contribuições do SENAI e FGTS para o Fundo Aeroviário (FAER) (Art, 1º da Lei 1.305/1974)	(1.) CSENAI, CFGTS
28	Contribuição Social do Trabalhador CST Art. 195, II, CF, LEI 8.212/1991	LEI 8.212/1991: Art. 30.I - a empresa é obrigada a: a) arrecadar as contribuições dos segurados empregados e trabalhadores avulsos a seu serviço, descontando-as da respectiva remuneração; (...) I - os segurados contribuinte individual e facultativo estão obrigados a recolher sua contribuição por iniciativa própria, até o dia quinze do mês seguinte ao da competência;	(2.) IRPF, CST, CS, COFP
29	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social COFINS Lei Complementar 70/1991 Lei n. 10.833/2003	Instituída pela Lei Complementar no 70/1991, sem prejuízo do PIS/Pasep incidindo sobre a mesma base de cálculo; Crédito presumido de IPI para empresas exportadoras (art. 1º da Lei 9.363/1996) Art. 2º, § 4o da Lei 9.363/1996 fica obrigada ao pagamento das contribuições para o PIS/PASEP e COFINS. Constituem receitas do Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (FUNTTEL) Percentual sobre a	(1.) CPIS/Pasep, IPI, ICMS

		receita bruta, excluindo-se para a determinação de base de cálculo o ICMS, a PIS e a COFINS (Art. 6º, II do Decreto 3.737/2001 e art. 4º, III da Lei 10.052/2000).	
30	Contribuição Social Patronal CSP Lei 8.212/1991	Lei 8.212/1991: Art. 22. A contribuição a cargo da empresa, destinada à Seguridade Social, além do disposto no art. 23, é de: I - vinte por cento sobre o total das remunerações pagas, devidas ou creditadas a qualquer título, durante o mês, aos segurados empregados e trabalhadores avulsos que lhe prestem serviços, destinadas a retribuir o trabalho, qualquer que seja a sua forma (...)	(2) CFNDE, CINCRA, GIL-RAT, CFGTS, FUNRURAL
31	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido CSLL Lei 7.689/1988	Contribuição sobre o lucro das pessoas jurídicas, cuja base de cálculo será o valor do resultado do exercício, antes da provisão para o imposto de renda. (arts. 1º e 2º da Lei 7.689/1988) Aplicam-se à CSLL as mesmas normas de apuração e de pagamento estabelecidas para o Imposto de Renda das Pessoas Jurídicas (art.6º da Lei n. 7.689/88) No caso de pessoa jurídica desobrigada de escrituração contábil, a base de cálculo da contribuição corresponderá a dez por cento da receita bruta auferida no período de 1º janeiro a 31 de dezembro de cada ano, ressalvado o disposto na alínea b do parágrafo anterior. (art. 2º, §2º, Lei 7.689/1988).	(1.) IRPJ, CPRB

32	Contribuições aos Órgãos de Fiscalização Profissional (OAB, CRC, CREA, CRECI, CORE, etc.) COFP Lei n. 12.514/2011	Pagas a partir do salário, remuneração ou renda do contribuinte	(2.) IRPF, CST, CS, COFP
33	Contribuições de Melhoria CM Art. 145, III, CF e no Código Tributário Nacional nos arts. 81 e 82		
34	Imposto de Transmissão de Bens Imóveis Inter-Vivos ITBI Arts. 35 a 42 do CTN e art. 156, II da CF	A base do cálculo do imposto é o valor venal do imóvel, mesma base de cálculo adotada pelo IPTU (arts. 33 e 38 do CTN);	(2.) IPTU, ITCMD
35	Imposto Predial e Territorial Urbano IPTU Arts. 32 a 34 da Lei 5.172/1966, CTN, e art. 156, I, da CF.	O imposto, de competência dos Municípios, sobre a propriedade predial e territorial urbana tem como fato gerador a propriedade, o domínio útil ou a posse de bem imóvel por natureza ou por acessão física, como definido na lei civil, localizado na zona urbana do Município (art. 32, CTN). Segundo o art. 33 do CTN a base do cálculo do imposto é o valor venal do imóvel, mesma base de cálculo adotada pelo ITCMD no art. 38 do CTN.	(2.) ITCMD, ITBI, ITR
36	Imposto sobre a Exportação IE Decreto Lei 1.578/1977	Aplica-se subsidiariamente, ao imposto de exportação a legislação relativa ao imposto de importação (art. 8º, Lei 1.578/1977) o texto constitucional prevê regras de isenção sobre a exportação para o ISS (art. 156, § 3º, II, CF), regras de imunidade para o ICMS (art. 155, § 2º, X, CF) e para o IPI (art. 153, § 3º, III, CF).	(1.) II, ISS, ICMS, IPI, CPIS/PASEP, COFINS,

		Bem como a isenção e não incidência do PIS/PASEP (art. 14, § 1º, da MP 2.158-35/2001 e art. 5º Lei 10.637/2002), hipóteses de isenção então incidência de COFINS (art. 7º da Lei Complementar 70/1991, Decreto-Lei 1.248/1972 e art. 6º da Lei 10.833/2003) O ISS não incide sobre as exportações de serviços para o exterior do País (art. 2º, inciso I, da Lei Complementar 116/2003). Não incide INSS sobre as receitas decorrentes de exportação de produtos rurais, cuja comercialização ocorra a partir de 12 de dezembro de 2001, (art. 149, parágrafo 2º, I da CF)	
37	Imposto sobre a Importação II Art. 153, I, da CF; art. 19 e seguintes do CTN e Decretos n. 6.306/2007, 6.339/2008, Decreto 6.759/2009 (Regulamento Aduaneiro)	Suspensão do II, IPI, PIS/PASEP, da COFINS, na importação, de forma combinada ou não com a aquisição no mercado interno, de mercadoria para emprego ou consumo na Industrialização de produto a ser exportado; Isenção do II e a redução a zero do IPI, da Contribuição para o PIS/PASEP, da COFINS, na importação de forma combinada ou não com a aquisição no mercado interno, de mercadoria equivalente à empregada ou consumida na industrialização de produto exportado (arts. 383 a 403 do Decreto 6.759/2009); Permite a importação de petróleo bruto e seus derivados, com suspensão do pagamento dos impostos federais, da contribuição para o PIS/PASEP Importação e da COFINS- Importação, para posterior exportação, no mesmo estado em que	(1.) IPI, CPIS/PASEP, COFINS, IOF

		foram importados. (Arts. 463 a 470 do Decreto 6.759/2009); É isenta do IOF a operação de câmbio realizada para pagamento de bens importados (Art. 16, I do Decreto 6.306/2007).	
38	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores IPVA Art. 155, III, da CF	Propriedade de veículo automotor (CF, art. 155, III)	(2.) TLVA
39	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural ITR Art. 29 e seguintes, do CTN e art. 153, VI, da CF e Decreto n. 4.382/2002.	O imposto, de competência da União, sobre a propriedade territorial rural tem como fato gerador a propriedade, o domínio útil ou a posse de imóvel por natureza, como definido na lei civil, localização fora da zona urbana do Município. (art. 29, CTN)	(2.) IPTU. ITCMD, ITBI
40	Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza IRPJ Art. 153, III, da CF; art. 43 e seguintes do CTN, Leis 8.981/95, 9.430/96 e Decreto 3.000/1999	REGIME DO SIMPLES NACIONAL Lei Complementar 123/2006 Simples Nacional implica o recolhimento mensal, mediante documento único de arrecadação, do IRPJ, IPI, CSLL, COFINS, PIS/PASEP, INSS, ICMS e ISS, sobre a receita bruta (art. 13 da Lei Complementar 123/2006); Não excluí a incidência, entretanto, de IOF, II, IE, ITR, CFGTS Contribuição de seguridade do empregador e do empregado (CSP e CST) (art. 13, §1º da Lei Complementar 123/2006); Dispensada do recolhimento das Contribuições a Terceiros (Sistema “S”: SENAI, SESI, SESC, SEBRAE, SEST, SENAT), Contribuição ao Salário - educação e a Contribuição Sindical (art. 13, § 3º, da Lei n. 123/2006)	(1.) IPI, CSLL, COFINS, PIS/PASEP, ICMS, ISS, IOF, II, IE, ITR, CFGTS, CSP, CST, SENAI, SESI, SESC, SEBRAE, SEST, SENAT, FNDE, CS (mutuamente ligados pela Lei Complementar 123/2006)

41	Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza de Pessoas Físicas IRPF Art. 153, III, da CF; art. 43 e seguintes do CTN, Leis 7.713/88, 9.250/95 e Decreto 3.000/1999	Incidirá sobre ganhos de capital, rendimentos provenientes do trabalho assalariado, as remunerações por trabalho as remunerações por trabalho prestado no exercício de empregos, cargos e funções, e quaisquer proventos ou vantagens percebidas (arts. 1º da Lei 7.713/88 e 43, <i>caput</i>, do Decreto 3.000/1999).	(2.) IRPF, CST, CS, COFP
42	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços ICMS Art. 155, II da CF e LC n. 87/96	Entrada de bem ou mercadoria importados do exterior (art. 155, IX, a da CF); Art. 12, § 2º da Lei Complementar 87/1996 e Súmula Vinculante 48, pagamento de ICMS no desembaraço aduaneiro. Base de cálculo inclui quaisquer outros impostos, taxas, contribuições e despesas aduaneiras (art. 12, § 2º da Lei Complementar 87/1996) Fornecimento de serviços e mercadorias conjuntamente Lei Complementar 116/2003 ISS e ICMS; Constituem receitas do Fundo para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (FUNTTEL) Percentual sobre a receita bruta, excluindo-se para a determinação de base de cálculo o ICMS, a PIS e a COFINS (Art. 6º, II do Decreto 3.737/2001 e art. 4º, III da Lei 10.052/2000). A Lei Complementar n. 114/2002, alargou a base de cálculo do ICMS incluindo: "quaisquer outros impostos, taxas, contribuições e despesas aduaneiras".	(1.) ISS, IPI, CPIS/PASEP, COFINS, (2.) AFRMM, II, IE.
43	Imposto sobre Operações de Crédito IOF	Redução da alíquota do IOF nas operações de câmbio relativas ao ingresso no País de receitas de	(1.) II, IE, IRPF

	Art. 153, V, da CF; art. 63 e seguintes do CTN e Decretos n. 6.306/2007, 6.339/2008	exportação de bens e serviços (Art. 15-B do Decreto n. 6.306/2007) Isenção do IOF na operação de câmbio realizada para pagamento de bens importados (Art. 16 do Decreto n. 6.306/2007); Em relação as empresas enquadradas no simples nacional (art. 7, VI, do Decreto n. 6.306/2007); Dedução do resgate de cotas de fundos com base no IR (art. 31, § único do Decreto n. 6.306/2007)	
44	Imposto sobre Produtos Industrializados IPI Art. 153, IV, da CF; art. 46 e seguintes do CTN, Decreto 7.212/2010.	O desembaraço aduaneiro, quando de procedência estrangeira de produto industrializado é fato gerador (art. 46 do CTN); O Decreto 7.212/2010 define a base de cálculo como preço normal do produto acrescido do II e das taxas exigidas para a entrada do produto no país; [II] IPI na base de cálculo do ICMS (Art. 155 § 2º, XI da CF); Fundo de Combate à Pobreza. Receitas do fundo parcelas do IPI e IGF (art. 80 I e II das ADCT). Receitas para o fundo formadas de percentuais do ICMS e ISS (art. 82, §1º e §2º das ADCT). Crédito presumido de IPI, visando o ressarcimento do PIS e da COFINS (art. 1º da Lei 9.363/1996).	(1.) II, IPI, ICMS, ISS, PIS/PASEP e COFINS
45	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza ISS Art. 156, III, da CF; Decreto Lei n. 406/68; e LC n. 116/200330.	Fornecimento de serviços e mercadorias conjuntamente Lei Complementar 116/2003 ISS e ICMS; O imposto não incide sobre a saída de produtos industrializados destinados ao exterior e a entrada de mercadorias importadas do exterior quando destinadas à utilização como matéria-prima em processos de industrialização, em estabelecimento	(1.) ICMS, II, IE

		do importador, desde que a saída dos produtos industrializados resultantes fique efetivamente sujeita ao pagamento do imposto (Art. 3º, I e V do Decreto Lei 406/1968)	
46	Imposto sobre Transmissão Causa Mortis e Doação ITCMD Art. 155, I, da CF e art. 35 e seguintes do CTN	A base do cálculo do imposto é o valor venal do imóvel (arts. 33 e 38 do CTN);	(2.) IPTU, ITBI
47	Taxa de Avaliação da Conformidade TIMETRO Lei 12.545/2011 - art. 13 e a Lei no 9.933/99	É instituída a Taxa de Avaliação da Conformidade, que tem como fato gerador o exercício do poder de polícia administrativa na área da avaliação da conformidade compulsória, nos termos dos regulamentos emitidos pelo Conmetro e pelo Inmetro. (art. 3º-A Lei no 9.933/99 e art. 11, §2º 12.545/2011)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
48	Taxa de Avaliação in loco das Instituições de Educação e Cursos de Graduação TAIE Lei 10.870/2004	São contribuintes da Taxa de Avaliação in loco as instituições de educação superior privadas e públicas (art. 2º da Lei 10.870/2004)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAFIC, TFVS, TLCMNR
49	Taxa de Classificação, Inspeção e Fiscalização de produtos animais e vegetais ou de consumo nas atividades agropecuárias TCIFPAeV Decreto-Lei 1.899/1981	O exercício do poder de polícia do Ministério da Agricultura (art. 1º do Decreto-Lei 1.899/1981)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
50	Taxa de Controle Administrativo de Incentivos Fiscais TCIF Lei 13.451/2017	Institui a Taxa de Controle de Incentivos Fiscais (TCIF), pelo exercício do poder de polícia, e a Taxa de Serviços (TS), pela prestação de serviços	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIPAEV,

		relacionados na própria lei (Art. 1º e 6º da Lei 13.451/2017)	TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
51	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental TCFA Lei 10.165/2000	Sendo o fato gerador o exercício regular do poder de polícia do Ibama para controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais (art. 1º da Lei 10.165/2000); Os proprietários rurais que se beneficiarem com redução do valor do ITR, com base em Ato Declaratório Ambiental, deverão recolher ao Ibama a importância prevista no item 3.11 do Anexo VII da Lei no 9.960, de 29 de janeiro de 2000, a título de Taxa de Vistoria (art. 17-O da Lei 10.165/2000)	(1.) ITR (2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
52	Taxa de Controle e Fiscalização de Produtos Químicos TCFPQ Lei 10.357/2001, art. 16	Fica instituída a Taxa de Controle e Fiscalização de Produtos Químicos, cujo fato gerador é o exercício do poder de polícia conferido ao Departamento de Polícia Federal para controle e fiscalização das atividades relacionadas no art. 1º desta Lei. (art. 16 da Lei 10.357/2001).	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
53	Taxa de Fiscalização da Aviação Civil TFAC Lei 11.292/2006	O exercício do poder de polícia decorrente das atividades de fiscalização, homologação e registros, nos termos do previsto na Lei no 7.565, de 19 de dezembro de 1986 - Código Brasileiro de Aeronáutica. (art. 29, §1º da Lei 11.292/2006)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
54	Taxa de Fiscalização da Comissão de Valores Mobiliários TFCVM Lei 7.940/1989	Exercício do poder de polícia legalmente atribuído à Comissão de Valores Mobiliários - CVM (art. 2º da Lei 7.940/1989)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR

55	Taxa de Fiscalização de Funcionamento das Telecomunicações TFFT Lei n.5.070/1966	O Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (Fistel) é um fundo contábil, formado pela arrecadação da Taxa de Fiscalização de Instalação (TFI) e da Taxa de Fiscalização de Funcionamento (TFF), previstas no art. 6º, §1º e §2º da Lei n.5.070/1966; Lei n. 9.998/2000, institui o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações. Constituem as receitas do fundo parcela dos recursos da taxa de fiscalização de instalação (TFI) e taxa de fiscalização de funcionamento (TFF); Percentual de contribuição sobre a receita bruta, excluindo-se ICMS, PIS e a Cofins; (art. 6º IV da Lei n. 9.998/2000)	(1.) TFI, ICMS, C-PIS/PASE, COFINS (2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
56	Taxa de Fiscalização de Instalação das Telecomunicações TFIT Lei n.5.070/1966	O Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (Fistel) é um fundo contábil, formado pela arrecadação da Taxa de Fiscalização de Instalação (TFI) e da Taxa de Fiscalização de Funcionamento (TFF), previstas no art. 6º, §1º e §2º da Lei n.5.070/1966; Lei n. 9.998/2000, institui o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações. Constituem as receitas do fundo parcela dos recursos da taxa de fiscalização de instalação (TFI) e taxa de fiscalização de funcionamento (TFF); Percentual de contribuição sobre a receita bruta, excluindo-se ICMS, PIS e a Cofins; (art. 6º IV da Lei n. 9.998/2000)	(1.) TFFT, ICMS, CPIS/PASEP, COFINS, TCIF. (2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
57	Taxa de Fiscalização de Sorteios, Brindes ou Concursos TFSBC art. 50 da MP 2.158-35/2001	Art. 50. Fica criada a Taxa de Fiscalização referente à autorização e fiscalização das atividades de que trata a Lei nº 5.768, de 20 de dezembro de 1971, devendo incidir sobre o valor do plano de	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV,

		operação, na forma e nas condições a serem estabelecidas em ato do Ministro de Estado da Fazenda.	TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
58	Taxa de Fiscalização de Vigilância Sanitária TFVS Lei 9.782/1999	Exercício do poder de polícia pela ANVISA (art. 23, da Lei 9.782/1999)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TLCMNR
59	Taxa de Fiscalização dos Produtos Controlados pelo Exército Brasileiro TFPC Lei 10.834/2003	O fato gerador da TFPC é o exercício regular do poder de polícia. (art. 1º, § único da Lei 10.834/2003)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
60	Taxa de Fiscalização e Controle da Previdência Complementar TAFIC Lei 12.154/2009	Sendo o fato gerador o exercício do poder de polícia (art. 12 da Lei Lei 12.154/2009)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TFVS, TLCMNR
61	Taxa de Licenciamento Anual de Veículo TLAV Lei 9.503/1997	Todo veículo automotor (art. 130 da Lei 9.503/1997)	(2.) IPVA
62	Taxa de Licenciamento, Controle e Fiscalização de Materiais Nucleares e Radioativos e suas instalações	Constitui fato gerador da TLC o exercício do poder de polícia legalmente atribuído à Comissão	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC,

	TLCMNR Lei 9.765/1998	Nacional de Energia Nuclear (art. 2º da Lei 9.765/1998)	TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS
63	Taxa de Outorga - Rádios Comunitárias TORC Lei 9.612/1998 e Decreto 2.615/1998	Taxa de cadastramento (art. 24 da Lei 9.612/1998 e nos art. 7 e 42 do Decreto 2.615/1998)	
64	Taxa de Outorga - Serviços de Transportes Terrestres e Aquaviários TOSTTA Lei 10.233/2001	No caso do transporte rodoviário coletivo interestadual e internacional de passageiros, a taxa de fiscalização será de R\$ 1.800,00 (mil e oitocentos reais) por ano e por ônibus registrado pela empresa detentora de autorização ou permissão outorgada pela ANTT. (art. 77, III, 3º da Lei 10.233/2001)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
65	Taxa de Outorga e Fiscalização - Energia Elétrica TOFEE Lei 9.427/1996	Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica, que será anual, diferenciada em função da modalidade e proporcional ao porte do serviço concedido, permitido ou autorizado, aí incluída a produção independente de energia elétrica e a autoprodução de energia (art. 12 da Lei 9.427/1996)	(2.) TFFT, TFIT, TSS-ANS, TOSTTA, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
66	Taxa de Utilização de Selo de Controle TUSC Lei 12.995/2014	Rótulo, etiquetas especiais para importadores de produtos estrangeiros para seu controle quantitativo e equipamentos que possibilitem a contagem de produção (art. 13 I e II da Lei 12.995/2014)	
67	Taxa de Utilização do Sistema de Controle de Arrecadação do Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante MERCANTE Lei 10.893/2004	Art. 11. O pagamento do AFRMM, acrescido da, será efetuado pelo contribuinte antes da autorização de entrega da mercadoria correspondente pela Secretaria da Receita Federal do Brasil. Art. 37. Fica instituída a Taxa de Utilização do MERCANTE. § 3o A taxa de que trata o caput não incide sobre: I - as cargas destinadas ao exterior;	(1.) AFRMM, IE

68	Taxas de Saúde Suplementar - ANS - TSS-ANS Lei 9.961/2000,	É fato gerador o exercício pela ANS do poder de polícia que lhe é legalmente atribuído e são sujeitos passivos as pessoas jurídicas, condomínios ou consórcios constituídos sob a modalidade de sociedade civil ou comercial, cooperativa ou entidade de autogestão, ainda que não assumam o risco financeiro da cobertura assistencial, que operem produto, serviço, contrato ou correlato, com a finalidade de garantir a assistência à saúde, visando à assistência médica, hospitalar ou odontológica. (art. 18 e 19 da lei Lei 9.961/2000)	(2.) TFFT, TFIT, TOSTTA, TOFFE, TFPC, TFSBC, TFCVM, TFAC, TCFPQ, TCFA, TCIF, TCIPAEV, TIMETRO, TAIE, TAFIC, TFVS, TLCMNR
----	---	---	--

Fonte: O autor, 2018.