

Escola de Tecnologias e Arquitetura
Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Antifragilidade:
Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Danielle Sandler dos Passos

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de
Doutor em Ciências da Complexidade

Orientador(a):
Doutor Helder Coelho,
Professor Emérito e Jubilado
Universidade de Lisboa

Co-orientador(a):
Doutora Flávia Mori Sarti,
Professora Titular
USP

Dezembro, 2018

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Danielle Sandler dos Passos

Escola de Tecnologias e Arquitetura
Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Antifragilidade:
Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Danielle Sandler dos Passos

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de
Doutor em Ciências da Complexidade

Júri:

Doutora Tanya Vianna de Araújo, Professora Associada, Universidade de Lisboa

Doutor José Barata Oliveira, Professor Associado, Universidade Nova de Lisboa

Doutor Jorge Louçã, Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

Doutor António Filipe Fonseca, Investigador Associado, ISCTE-IUL

Doutor Hélder Coelho, Professor Emérito e Jubilado, Universidade de Lisboa

Doutora Flávia Mori Sarti, Professora Titular, USP

Dezembro, 2018

Resumo

Este trabalho tem o intuito de investigar a Antifragilidade de instituições financeiras. O nosso foco é vislumbrar a relação existente entre medidas de rede destas organizações e o seu grau de Antifragilidade. Para tal, teorias e ideias ligadas à complexidade são utilizadas, dando destaque às inter-relações existentes entre as instituições e às possíveis consequências provenientes desta rede de ligações.

No que tange à gestão de riscos, o uso de modelos mais tradicionais já não é adequado para a análise dos cenários atuais. Modelos mais amplos e menos rígidos, que abordam a complexidade presente e as suas incertezas e constantes mudanças, ascenderam, tornando-se hoje necessários para uma análise eficiente de cenários.

Nessa vertente, utilizamos na nossa investigação conceitos e teorias atreladas à complexidade, o que nos permite uma visão mais abrangente e coerente com a realidade dos elementos estudados.

Uma profunda revisão bibliográfica foi realizada, a fim de abordarmos importantes conceitos para o nosso trabalho, tais como a Complexidade e seus sistemas, a Antifragilidade e a Resiliência, as Redes e respectivas medidas de centralidade, a Gestão de Risco e sua evolução, bem como o Mercado Financeiro e seus agentes.

Através da exposição e análise de diferentes estudos, procuramos deixar mais claro o que é a Antifragilidade. Além disso, o uso da Teoria de Redes para o esboço e análise da nossa rede interbancária, juntamente com a criação de um modelo de mensuração da Antifragilidade dos agentes, compõe o arsenal que utilizamos na nossa tentativa de comprovar que o grau de interação de uma instituição está diretamente relacionado ao seu grau de antifragilidade.

Entre os principais resultados e conclusões provenientes do nosso trabalho, podemos destacar: o vislumbre da Antifragilidade como um estágio aprimorado (e atual) da resiliência; a existência de uma densa rede de relações entre as instituições financeiras analisadas, pautadas pela existência de fundos mútuos e empresas acionistas em comum; a grande variedade de elementos que influenciam o grau de Antifragilidade das organizações e a limitação da sua mensuração face à ainda precária disponibilização de dados; e, finalmente, a existência de uma relação direta entre o grau de interligação das instituições e o seu grau de Antifragilidade.

Importa ressaltar que esta tese é o resultado de um processo multidisciplinar em que mesclo a minha experiência profissional junto do Banco do Brasil S/A, a minha vivência como pesquisadora junto do RICS (*Robotics and Industrial Complex Systems*), e os

conhecimentos por mim adquiridos, entre pós-graduações, mestrado e doutoramento, na área de finanças, gestão de risco e complexidade.

Por fim, espero que os resultados deste estudo sejam úteis à minha e a outras equipes e instituições, e que possam contribuir no trabalho de outros pesquisadores e profissionais.

Palavras-chave: Antifragilidade; Complexidade; Resiliência; Gestão de Risco.

Abstract

This work aims to investigate the Antifragility of financial institutions. Our focus is to glimpse the relationship between the network measures of these organizations and their degree of Antifragility. To that effect, theories and ideas linked to complexity are used, highlighting the interrelationships between the institutions and the possible consequences of this network of links.

With regard to risk management, the use of more traditional models is no longer adequate to analyze the current scenarios. Larger and less rigid models, which address the present complexity and its uncertainties and constant changes, have risen, and today are necessary for an efficient analysis of scenarios.

In this sense, we use in our research concepts and theories linked to complexity, which allow us a more comprehensive and coherent view with the reality of the elements studied.

A thorough bibliographical review was performed in order to address important concepts for our work, such as Complexity and its systems, Antifragility and Resilience, Networks and their measures of centrality, Risk Management and its evolution, and Financial Market and its agents.

Through exposure and analysis of different studies, we seek to make clearer what Antifragility is. In addition, the use of Network Theory to sketch and analyze our interbank network, together with the creation of a model for measuring the agents' Antifragility, makes up the arsenal we used in our attempt to prove that the degree of interaction of an institution is directly related to its degree of Antifragility.

Among the main results and conclusions drawn from our work, we can highlight: the glimpse of Antifragility as an improved stage (and current) of resilience; the existence of a dense network of relations between the analyzed financial institutions, based on the existence of mutual funds and shareholder companies in common; the great variety of elements that influence the degree of Antifragility of the organizations and the limitation of its measurement against the still precarious availability of data; and finally, the existence of a direct relationship between the degree of interconnection of institutions and their degree of Antifragility.

It should be noted that this thesis is the result of a multidisciplinary process in which I combine my professional experience at Banco do Brasil S/A, my experience as a researcher with RICS (Robotics and Industrial Complex Systems), as well as the knowledge acquired by me, through post-graduation, masters and PhD degrees, in the finance, risk management and complexity area.

Finally, I hope the results of this study can serve my own and other teams and institutions, and can contribute to the work of other researchers and professionals.

Keywords: Antifragility; Complexity; Resilience; Risk Management.

Agradecimentos

Entre todos os que se fizeram presentes nesse percurso, agradeço em especial ao Professor José Barata, por me ter apresentado ao tema da Antifragilidade e por me ter propiciado a vivência como pesquisadora junto do RICS. Agradeço também aos meus orientadores, o Professor Helder Coelho e a Professora Flávia Mori Sarti, pelo auxílio e contribuições ao longo desta jornada. Ao professor Rui Lopes, pela sua paciência e disposição para tratar das minhas dúvidas no âmbito de redes. Ao professor Vincenzo De Florio, por ter lido alguns dos meus trabalhos e ter contribuído com apontamentos de grande relevância e utilidade para o desfecho dos mesmos. A todos os colegas e profissionais com os quais debati sobre os temas que compõem este trabalho e cujas informações e *feedback* me auxiliaram neste desfecho. E, principalmente, agradeço a Deus, por me dar força e condições para vencer mais este desafio, e aos amigos e familiares que me apoiaram sempre com uma palavra de conforto e de motivação.

Lista de Siglas e Abreviaturas

BCB – Banco Central do Brasil

BCBS – *Basel Committee of Banking Supervision*

BIS – *Bank for International Settlements*

ERM – *Enterprise Risk Management*

EUA – Estados Unidos da América

G-SIBs – *Global list of Systemically Important Banks*

IAB – Índice de Antifragilidade Bancária

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

SAC – *System Adaptive Complex*

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

Índice de Figuras

Figura 1 – Movimento estigmérgico de formigas na busca por comida	14
Figura 2 – Problema das Sete Pontes de Kongsberg e o respetivo grafo	16
Figura 3 – Redes small worlds	17
Figura 4 – Adição de novos nodos em redes scale free.....	17
Figura 5 – Grafo e os seus elementos	18
Figura 6 – Grafo estrela	18
Figura 7 – Grafo comum	19
Figura 8 – Rede Multilayer.....	20
Figura 9 – Distribuição Normal de uma função de probabilidade	25
Figura 10 – Propagação de contágio.....	34
Figura 11 – Estruturas resistentes em grandes choques	34
Figura 12 – A nossa primeira rede.....	50

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Critérios Analíticos da Antifragilidade.....	8
Tabela 2 – Tipos de Riscos.....	27
Tabela 3 – Gestão de Risco Tradicional x Empresarial.....	30
Tabela 4 – PageRank de rede multilayer (agregada).....	51
Tabela 5 – PageRank em rede monolayer com fundos mútuos.....	52
Tabela 6 – PageRank em rede monolayer com acionistas em comum.....	52
Tabela 7 – PageRank rede monolayer ‘bancos-acionistas’	53

Índice

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	ESTRUTURA DA TESE.....	3
1.2.	HIPÓTESE E OBJETIVOS DA PESQUISA	4
1.3.	METODOLOGIA	5
2.	ESTADO DA ARTE	11
2.1.	COMPLEXIDADE: CIÊNCIA, CONCEITOS E TEORIAS.....	11
2.1.1.	Sistema Adaptativo Complexo (SAC).....	11
2.1.2.	Resiliência e Antifragilidade	13
2.1.3.	Estigmergia.....	14
2.1.4.	Teoria das Redes.....	15
2.2.	O SISTEMA FINANCEIRO	21
2.3.	GESTÃO DE RISCO NO MERCADO FINANCEIRO	25
2.3.1.	Principais Riscos presentes no Mercado Financeiro	26
2.3.2.	Risco Sistêmico e o Contágio Financeiro.....	27
2.3.3.	A Evolução da Gestão de Risco	29
2.3.4.	Modelos de mensuração de risco – VaR e CoVaR.....	31
2.3.5.	Medida do Risco Sistêmico – Topologia das Redes e outras opções.....	33
2.3.6.	Engenharia de Resiliência e Antifragilidade	35
3.	ARTIGOS E CONSIDERAÇÕES	37
3.1.	ARTIGO 1.....	37
3.1.1.	Considerações sobre o Artigo 1	42
3.2.	ARTIGO 2.....	45
3.2.1.	Considerações sobre o Artigo 2.....	49
3.3.	ARTIGO 3.....	54
3.3.1.	Considerações sobre o Artigo 3.....	63
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
5.	REFERÊNCIAS	74
6.	APÊNDICES	88

“By examining how life happens from a complexity perspective, we seem to have increased our reverence for life – the more we understand, the more we are amazed.” – Zimmerman et al., 1998

1. Introdução

Até há poucos anos, o conceito de Antifragilidade¹ não existia e a complexidade presente no nosso quotidiano era ignorada pelos tradicionais métodos aplicados na gestão de risco. Todavia, com a emergência de cenários permeados de incertezas e em frequente mudança, as crises proliferaram – deixando de ser ‘tão raras’ –, tornando insuficientes e ineficazes os métodos tradicionais de gestão perante as atuais demandas.

Neste contexto, o conceito de Antifragilidade, assim como outros conceitos e mecanismos atrelados à complexidade, torna-se extremamente importante para estudos e análises de cenários económicos e financeiros (entre outros). Ao aceitarmos a presença da complexidade em tudo o que nos rodeia, e ao incorporarmos alguns dos seus conceitos e teorias nos métodos de gestão de risco, estamos a ampliar o espectro de variáveis analisadas e a tornar o modelo e a sua amostra mais fidedignos à realidade.

Neste trabalho, visamos a multidisciplinaridade, procurando entrelaçar diferentes campos de estudo, para propiciar uma análise mais ampla e resultados mais condizentes e úteis às instituições.

Desde o início, o nosso projeto de pesquisa foca-se na comprovação da relação direta entre a importância das instituições financeiras e o seu grau de Antifragilidade. Para tal, propomo-nos a: esclarecer o conceito de Antifragilidade; traçar e analisar a rede relacional – sob uma nova ótica, fundamentada na existência de acionistas em comum – existente entre algumas das mais importantes instituições financeiras mundiais; criar um método de medida da Antifragilidade das instituições financeiras, sob a ótica da complexidade, de forma a que seja possível a comparação entre as instituições analisadas; e, finalmente, confrontar as medidas de rede das organizações com o seu índice de Antifragilidade, a fim de comprovar a relação entre elas.

O trabalho foi dividido em 4 fases:

1.^a) Busca por uma conceptualização precisa de Antifragilidade, em que confrontamos a ideia de Taleb (2012) de que a Antifragilidade é algo arredado da resiliência. Uma vasta revisão bibliográfica é efetuada, destacando-se e analisando-se conceitos e teorias associados à complexidade e às diversas definições de resiliência e Antifragilidade, com a intenção de comprovar que a Antifragilidade é a própria resiliência no seu estágio mais aperfeiçoado;

¹ Nassim Taleb foi o criador do termo Antifragilidade, tendo-o definido da seguinte forma: “*Antifragility is beyond resilience or robustness. The resilient resists shocks and stays the same; the antifragile gets better.*” (Taleb, 2012).

2.^a) Vislumbre e análise da rede interbancária composta por 42 instituições financeiras – entre americanas, europeias, brasileiras, asiáticas e outras –, cujas ligações se baseiam na existência de acionistas em comum. Para verificarmos o quão densamente interligadas estão as instituições e salientarmos a influência e a importância de cada agente na rede, usamos as suas medidas de centralidade;

3.^a) Criação de um Índice de Antifragilidade Bancária (IAB), para medida da Antifragilidade das instituições analisadas. Através do IAB, é possível medir e comparar a Antifragilidade das instituições, utilizando dados públicos que acreditamos serem representativos dos vários campos atrelados à Antifragilidade das organizações bancárias. O mecanismo de Lógica Fuzzy é utilizado para padronizar e ‘quantificar’ os dados, o que permite a sua fácil manipulação e análise.

4.^a) Contraposição dos resultados encontrados no segundo e terceiro estágios, a fim de comprovar que quanto mais importante e inter-relacionada for a organização, maior tende a ser a sua Antifragilidade.

O nosso projeto teve o seu início em meados de 2015, quando começámos a estudar a Ciência da Complexidade. Logo depois, a obra de Taleb (2012) – *Antifrágil: coisas que se beneficiam com o caos* – instigou-nos a procurar uma forma de medir o quão preparadas as empresas estavam para beneficiar das constantes incertezas e mudanças no mercado financeiro.

Seguidamente, com o estudo mais aprofundado da Teoria das Redes, deparámo-nos com o trabalho de pesquisadores do ETH Zurique sobre as organizações que dominam o mundo comercial (Vitali *et al.*, 2011). Através deste, pudemos perceber que empresas vistas como concorrentes possuem muitas vezes relações de parceria que influenciam fortemente a dinâmica do mercado.

Diante disso, surge a ideia de recolhermos informações – diferentes da tradicional relação pautada por linhas de crédito – das principais instituições financeiras, que nos propiciassem perceber como elas se relacionam.

Além disso, o estudo de caso realizado junto do Banco do Brasil S/A, ao longo de 2016 e 2017 – em que se destaca a importância da complexidade, da tecnologia e das *fintechs* para o desenvolvimento do mercado bancário (Passos, 2017) –, também serviu como base para o direcionamento do nosso projeto, pois forneceu-nos *insight* sobre os elementos organizacionais (e não só) atrelados à Antifragilidade.

Finalmente, ao depararmo-nos com as diretrizes de gestão de risco que o Comité de Basileia indica para as instituições financeiras consideradas sistemicamente importantes (G-SIBs), vislumbramos que o comité também considera os métodos tradicionais

ineficientes e desconexos da realidade. Ao englobar complexidade e inter-relações organizacionais – assim como substituíbilidade, atividade interjurisdicional e tamanho – entre os elementos importantes que compõem os novos métodos de gestão de risco, vemos a ratificação de algumas ideias defendidas no nosso projeto, o que sustenta a ideia de que estamos no caminho correto.

1.1. Estrutura da Tese

A tese é composta por quatro partes principais: uma introdução; o estado da arte; a coleção de artigos; e as conclusões e considerações finais.

Na introdução, procuramos descrever os elementos atrelados à elaboração e desenvolvimento deste trabalho, expondo o que motivou a criação do nosso projeto e quais os seus principais objetivos. Os métodos utilizados ao longo da pesquisa também são destacados, assim como algumas das nossas conclusões e considerações.

De seguida, temos o estado da arte, em que buscamos englobar todos os temas e conceitos trabalhados de forma individual nos artigos. Nesta secção, a nossa intenção é entrelaçar os elementos e fazer um panorama mais amplo dos mesmos, a fim de facilitar o entendimento de tudo o que tratamos ao longo da nossa pesquisa.

A terceira parte é composta pela exposição dos três artigos publicados. O primeiro documento centra-se na conceptualização de Antifragilidade, contrapondo a ideia original de Taleb (2012) de que a Antifragilidade é dissociada da Resiliência. Após uma ampla exposição e revisão bibliográfica, é possível verificar a incoerência dessa dissociação e vislumbrar a Antifragilidade como o estágio mais aprimorado da resiliência.

No segundo artigo, passamos para um trabalho mais prático. Através da recolha de dados de cada uma das 42 organizações financeiras escolhidas, traçamos as redes de relações entre estas. A Teoria de Redes permeia o trabalho desenvolvido nessa etapa. Através da análise dos grafos e das medidas de centralidade encontradas, demonstramos os benefícios de se utilizar redes *multilayers*, ao invés de redes simples (*monolayers*), e destacamos ainda os bancos mais (e menos) importantes da rede.

Já o último artigo tem por objetivo desenvolver um método de medida da Antifragilidade das organizações financeiras. Para tal, propomos a criação do Índice de Antifragilidade Bancária, que utiliza a Lógica Fuzzy no tratamento dos dados recolhidos, fornecendo um valor relativo à Antifragilidade de cada organização. Destacamos os elementos que compõem o cálculo (e o porquê da escolha destes), e quais entre eles consideramos primordiais para o desenvolvimento da Antifragilidade das organizações financeiras.

Por fim, temos a secção de conclusões e considerações, na qual fazemos um apanhado de todos os resultados e percepções que emergiram ao longo de toda a nossa pesquisa. Os aspetos diferenciadores do nosso trabalho e as nossas principais conclusões são destacadas, assim como as lacunas ainda existentes e o trabalho futuro a ser desenvolvido.

1.2. Hipótese e objetivos da pesquisa

Esta tese propõe-se a demonstrar a relação existente entre Antifragilidade e o grau de interligação e de importância das instituições financeiras. Além disso, visamos destacar a presença e a importância da complexidade no mercado financeiro e na gestão de risco.

A nossa principal hipótese é: **Quanto maior a importância de uma organização na rede, mais Antifragil ela tende a ser.** Para testar essa hipótese, percorremos quatro etapas:

- 1) Definição de Antifragilidade sob o viés da complexidade e o seu contraste com a resiliência;
- 2) Estruturação de rede interbancária baseada em acionistas e fundos mútuos;
- 3) Criação de um método para medida da Antifragilidade das instituições financeiras;
- 4) Confrontação dos resultados provenientes da análise de rede e da mensuração da Antifragilidade, cujos objetivos vertentes são:
 - a) Criação de um conceito exato de Antifragilidade, onde desmistificamos a ideia original de Taleb (2012) de que Antifragilidade e Resiliência são coisas diferentes;
 - b) Estruturação de uma rede interbancária mundial, cujas ligações se estruturam em acionistas e fundos mútuos entre as instituições;
 - c) Demonstração das razões pelas quais devemos utilizar redes *multilayers*, comparando-as com as redes *monolayers*, a fim de destacar as suas vantagens;
 - d) Explicação da Teoria de Rede, pontuando os agentes da nossa rede conforme a sua medida de *PageRank*;
 - e) Constatação da presença da complexidade no nosso quotidiano e destaque da sua importância nos processos atrelados à gestão de risco;
 - f) Elucidação do mercado financeiro, destacando a sua evolução e o estágio atual, assim como os seus agentes;
 - g) Criação de um método matemático, alimentado por dados públicos, que forneça o grau de Antifragilidade de cada instituição analisada;
 - h) Destaque das variáveis organizacionais e mercadológicas que são importantes para o desenvolvimento da Antifragilidade das instituições financeiras;

i) Comprovação da relação direta entre o grau de Antifragilidade das instituições e o seu *PageRank*.

1.3. Metodologia

Presente em todas as etapas do nosso trabalho, a revisão bibliográfica é um dos alicerces desta tese. É um processo que envolve a recolha, análise e assimilação de informações e conhecimentos presentes em literatura – livros, artigos, dissertações, periódicos, etc. – já existente, com o intuito de responder a uma questão, testar uma hipótese ou criar um fundamento teórico-científico sobre tópicos e assuntos (Shaw, 1995; Levy & Ellis, 2006).

Um dos nossos contributos e aspetos diferenciadores passa por englobar conceitos da complexidade na nossa pesquisa e utilizar estudos multidisciplinares para a fundamentação das nossas conclusões e considerações.

No nosso primeiro artigo, toda a pesquisa é fundamentada no processo de revisão e análise da literatura referente aos mecanismos e conceitos de resiliência e de Antifragilidade. O marco inicial é o trabalho de Holling (1973), onde vemos a origem epistemológica da resiliência. Seguidamente, na obra de Taleb (2012), somos apresentados pela primeira vez ao termo Antifragilidade. Aqui, o autor dissocia também a Antifragilidade da resiliência, o que nos causa certa estranheza e nos faz perceber a necessidade de criar um conceito mais claro e despojado de Antifragilidade.

Para tal, revisitamos diversos estudos (Holling, 1996; Hollnagel & Woods, 2006; De Florio, 2014; Karadimas *et al.*, 2014; Aven, 2014; Hole, 2016; ...), fazendo um paralelo entre as definições de cada um. Destacando as suas similaridades e equivalências, através de um processo dedutivo² é-nos possível chegar a uma conceptualização mais robusta de Antifragilidade, com a qual retificamos a incoerência de Taleb (2012) ao demonstrarmos que a Antifragilidade é a própria resiliência, na sua forma atual e mais aperfeiçoada.

No nosso segundo artigo, focamos a estruturação e análise de uma rede interbancária composta por 42 instituições financeiras, representativas do cenário económico mundial. Visamos inovar, ao utilizarmos como critério de ligação entre os agentes o ‘Top 10’ de acionistas e fundos mútuos entre estes, diferente da grande maioria dos estudos que estruturam as redes interbancárias em linhas de crédito interbancárias (Boss *et al.*, 2004; Nier *et al.*, 2007; Upper, 2011; Battiston *et al.*, 2012; Tabak *et al.*, 2014; Bardoscia *et al.*, 2017)

² Processo de análise e comparação de premissas, que reformula e/ou enuncia, de forma explícita, as informações já contidas nas premissas (Marconi & Lakatos, 2003).

Adicionalmente, o nosso principal objetivo é demonstrar as vantagens do uso de redes *multilayers* face às ‘tradicionalis’ redes *monolayers*. Tal demanda surge quando percebemos, após a recolha dos dados, que alguns bancos também figuravam como acionistas. A partir daí, começámos a questionar-nos sobre como representar estes dois ‘papéis’ de um mesmo agente num mesmo grafo.

Inicialmente, elucidámos sobre alguns fundamentos da Teoria das Redes. Trabalhos como o de Kivelä *et al.* (2014) e de De Domenico *et al.* (2013) compõem a principal fonte para o fundamento teórico dos resultados encontrados nessa fase.

Associadamente à revisão bibliográfica, é executado um trabalho mais prático, onde se verifica a recolha de dados de cada uma das 42 instituições no portal *Yahoo Finance* e na plataforma da *Thomson Reuters*. Tivemos o cuidado de recolher todos os dados no mesmo dia (23 de dezembro de 2017), a fim de evitar que mudanças diárias pudessem prejudicar a análise.

Após elencarmos todos os acionistas e fundos mútuos em tabelas do Excel, optámos por utilizar o software *MuxViz*, versão 1.0, para exposição da rede e análise dos grafos. Para validar a nossa hipótese de que redes *multilayers* são melhores que *monolayers* para o estudo de redes interbancárias, comparámos os valores das medidas de centralidade encontrados em cada caso.

Originalmente, a nossa pretensão era utilizar o grau como variável de teste. Contudo, visto que a rede não era estritamente indireta, pois havia bancos que também figuravam entre os acionistas, optámos por utilizar o *PageRank*. Tal escolha ocorre por entendermos que o *PageRank* abrange de maneira distinta cada posição (banco ou acionista) do agente, trespassando isso ao longo da cadeia de ligações.

Uma vez estruturada a rede interbancária existente entre os bancos selecionados e mensurada a importância de cada agente e respetivas interligações com os restantes agentes, passamos para o terceiro estágio da nossa pesquisa, onde o objetivo era criar um método usual de medida da Antifragilidade.

Fazendo novamente uso da revisão bibliográfica, buscamos consolidar a ideia de que mercado e instituições são exemplos de Sistemas Adaptativos Complexos. Concomitantemente, analisamos os métodos tradicionais de Gestão de Risco e vislumbramos a incongruência de ainda se utilizarem tais métodos – alicerçados em previsões e massivamente associados a modelos estocásticos – na gestão de risco de mercados e instituições.

Na literatura de Triana (2009), Hole (2016) e Aven (2017), fica perceptível a ineficiência dos tradicionais métodos de gestão de risco. Diante disso, reafirmamos a

necessidade de se criar um método adequado ao (complexo) cenário atual. A nossa proposta é mesclar conceitos e mecanismos da complexidade com a utilização de dados públicos, já utilizados pelo mercado financeiro para avaliar organizações e os seus riscos.

Trabalhos como o de Taleb (2011) e De Florio (2014) serviram para clarear o nosso entendimento teórico sobre Antifragilidade, mas não funcionavam efetivamente para a sua medida.

Já o artigo de Taleb & Douady (2013) propôs uma alternativa, em que conseguíamos definir se algo é Frágil, Robusto ou Antifrágil. No entanto, não fornecia uma medida exata de Antifragilidade, e todo o processo se estruturava em derivadas, caudas e concavidades, não abrangendo dados e informações usuais ao mercado nem permitindo um comparativo efetivo entre as instituições.

Seguindo a busca por trabalhos que nos fornecessem elementos práticos para o que queríamos fazer, deparámo-nos com o artigo de Johnson & Gheorghe (2013), no qual critérios analíticos associados à Antifragilidade são elencados. Em posse desses dados e de outros estudos (De Florio, 2014, 2015; Verhulsta, 2014; Rafi *et al.*, 2016), definimos os 6 critérios que compõem o nosso cálculo: Redundância, Emergência, Variedade necessária, Tolerância ao stress, Não-Monotonicidade e Absorção.

De toda a literatura revista, somente no trabalho de Ghasemi & Alizadeh (2017) vimos uma proposta semelhante à nossa, onde os autores buscaram efetivamente medir a Antifragilidade de uma organização, recorrendo a critérios analíticos da Antifragilidade atrelados a elementos organizacionais e mercadológicos. A recolha de dados foi feita através de questionários respondidos pelos funcionários da empresa analisada, e a Lógica Fuzzy foi o método escolhido para o tratamento dos dados.

No nosso caso, coletar dados através de questionários não era uma boa opção. Primeiro, porque a nossa amostra é composta por 42 bancos e seria complicado coletar e analisar respostas de um número expressivo de funcionários de cada uma das organizações. E segundo, porque o uso de questionários é suscetível a enviesamentos, causados por diferentes entendimentos das questões, por insuficiências de base amostral e/ou por desfasamento entre a amostra final e a inicial (Marconi & Lakatos, 2003). Assim, optámos por utilizar variáveis, já utilizadas pelo mercado para análise de cenários, com vista a calcular os critérios analíticos da Antifragilidade que escolhemos.

Para a escolha das variáveis, levámos em consideração os tópicos destacados pelo Comité de Basileia e as sugestões de alguns profissionais do mercado financeiro. Além disso, era necessário que conseguíssemos os dados e informações referentes às variáveis escolhidas, de todas as instituições analisadas, o que nos levou a excluir diversas variáveis

(investimento em P&D, investimento em educação/aprimoramento, parcerias e fomentos com *fintechs*, quantidade de *fintechs* provenientes de *labs* internos ou parceiros, investimento em tecnologia, etc.) que considerávamos boas para medida dos critérios. Por fim, desse processo resultou a escolha de 18 variáveis (Tabela 1).

Critérios Analíticos da Antifragilidade	Síntese	Variáveis
Redundância	Tolerância ao <i>stress</i> Defesa contra riscos	Número de Empregados
		Acionista de outras instituições financeiras
Emergência	Conhecimento e Inovação Movimentos <i>bottom-up</i>	Valor da Marca
		Universidade Corporativa
		Instituto de Pesquisa
		Acelerador de <i>startup</i>
		Centros de P&D
Variedade Necessária	Partilha de informações Regulamento e auditoria	Portal de Desenvolvimento
		<i>Rating</i>
Necessidade de <i>stress</i>	Tolerância ao <i>stress</i>	Participação do Governo
		Beta (β)
		Índice de Capital
		AML Índice Basileia
		Probabilidade de inadimplência
Não-Monotonicidade	Capacidade de Aprendizagem e melhoria <i>Feedback</i> constante	% crescimento da receita
		Δ Valor da Marca
Absorção	Resiliência Capacidade de Adaptação	ESG <i>Rating</i>
		Margem EBITDA

Tabela 1 – Critérios Analíticos da Antifragilidade (Fonte: Própria)

Quanto ao tratamento de dados, o uso da Lógica Fuzzy parece ser o método mais adequado, visto que através deste conseguimos estandardizar variáveis quantitativas e qualitativas num único processo, o que nos permite uma medida mais ampla – e condizente com a complexidade – da Antifragilidade. Através do número triangular Fuzzy, podemos padronizar (tornar numérico) todos os dados que utilizamos no nosso cálculo. Além disso, no final obtemos um valor numérico que representa o grau de Antifragilidade de cada instituição financeira, o que nos permitiu ordenar e comparar as instituições analisadas.

Em posse da rede, das medidas de centralidade e dos IAB de cada uma das 42 instituições financeiras analisadas, partimos para a última fase do nosso trabalho. Nesta,

confrontamos os dados recolhidos e os resultados encontrados, com o intuito de validar a nossa principal hipótese: a existência de uma relação direta entre a importância da instituição na rede e o seu grau de Antifragilidade.

De forma prática, o que esperamos no final desta etapa é vislumbrar que as instituições com maiores (menores) *PageRank* também apresentem os maiores (menores) IAB.

Por fim, importa ressaltar que as metodologias utilizadas ao longo dos três artigos se completam, proporcionando um melhor entendimento dos conteúdos abordados e das conclusões e considerações destacadas. Em cada artigo, é possível obter uma descrição mais minuciosa de cada metodologia.

2. Estado da Arte

2.1. Complexidade: Ciência, Conceitos e Teorias

Complexo, do latim *complexus*, retrata diferentes partes interligadas que formam um todo interdependente, interativo e inter-retroativo (Morin, 2007; Reichtin & Maier, 2010).

Com raízes no final do século XIX, quando Émile Durkheim e Herbert Spencer passaram a vislumbrar a sociedade como um grande organismo, a complexidade veio, desde então, a ganhar cada vez mais notoriedade nos mais diversos campos de estudo (Heylighen & Lenartowicz, 2017).

Tal como uma ciência, a complexidade é uma forma de percepção do mundo, que vislumbra os sistemas através da análise dos agentes e das suas relações (Watts, 2004). Deixa-se de lado a verificação das partes, de forma individual, e opta-se por uma visão mais ampla, onde o foco é no todo – que contempla, simultaneamente, movimentos ordenados e desordenados, que facilitam a sua adaptação ao incerto e imprevisível (Morin & Le Moigne, 2000).

Vista como altamente paradoxal – onde ambos os lados de uma contradição podem ser verdadeiros –, a Ciência da Complexidade surge em contraste (e progresso) à tradicional perspectiva newtoniana (Zimmerman *et al.*, 1998; Capra, 2002).

Usando recursos multidisciplinares, essa nova ‘doutrina’ passa a integrar estudos de diversas áreas e confronta premissas clássicas, tais como o reducionismo³ e a linearidade⁴, e passa a buscar na compreensão dos relacionamentos entre as partes o entendimento do sistema como um todo (Gell-Mann, 1994; Holland, 1995; Moses, 2010; Dekker *et al.*, 2011).

Sob um ponto de vista mais holístico, a Ciência da Complexidade pretende articular o todo com as partes, num ir e vir incessante (Johnson, 2002). Indivíduos e organizações passam a ser vislumbrados não como um ‘ser’ pontual e isolado, mas sim como um sistema dinâmico que compõe uma rede maior de sistemas e que influencia e é influenciado pelo meio (Watts, 2004; Dekker *et al.*, 2011; Braithwaite *et al.*, 2018).

2.1.1. Sistema Adaptativo Complexo (SAC)

Ao olharmos à nossa volta, podemos perceber que o mundo está repleto de sistemas complexos – desde uma célula até indivíduos, organizações, mercados, países, *etc.* Da interação entre as suas partes resultam novos comportamentos sinérgicos, em que há um esforço coordenado das partes em prol de um objetivo comum (Maturana & Varela, 1995;

³ Busca por entender o todo através da compreensão em separado de cada uma das suas partes.

⁴ Onde as saídas (resultados) são proporcionais às entradas.

Morin, 2005), e que permite ao sistema sobreviver e evoluir junto dos restantes sistemas e do ambiente (Parker & Stacey, 1995; Capra, 2002).

Conforme Morin (2011), o SAC, no seu todo, apresenta propriedades emergentes, que resultam das relações de interdependência entre os seus agentes. Adicionalmente, todos os sistemas complexos tendem a ser adaptativos. Para compreendermos o que é um Sistema Adaptativo Complexo, basta atentarmos ao significado das três palavras que compõem a sua designação: 1) Sistema: conjunto de elementos interligados; 2) Adaptativo: Capacidade de se modificar perante estímulos e necessidades; 3) Complexo: através das interligações das suas partes, emergem novos elementos e comportamentos (Zimmerman *et al.*, 1998; Ellis & Herbert, 2011; Chiva *et al.*, 2013).

Contrariamente ao que é defendido nos preceitos newtonianos, o equilíbrio constante não é benéfico para os sistemas complexos (Pascale, 1999; Welsh, 2014). Tal se deve ao facto da sua aprendizagem e crescimento serem estimulados apenas em ambientes de desordem, com perturbações e variações nas condições iniciais (MacLean & MacIntosh, 2011; Pauwelyn, 2014).

Quanto às suas principais características, para além do seu carácter emergente, podemos destacar:

- *Auto-organização*: os agentes agem de forma organizada, a fim de criar condições para que o sistema se adapte às mudanças e demandas, tanto internas quanto externas (Holland, 1995; McDaniel & Driebe, 2015);

- *Não-linearidade*: o tamanho dos resultados não corresponde à dimensão das entradas. Pequenas diferenças nas variáveis iniciais podem gerar enormes impactos (Senge, 1991; Diamond, 2005);

- *Co-evolução*: a evolução simultânea do sistema e dos seus agentes, o que torna o comportamento atual e futuro dependentes da história (McDaniel & Driebe, 2015; Waddock *et al.*, 2015);

- *Loop de Feedback*: o mecanismo recursivo, em que a ação e a reação se misturam, num processo de constante observação e busca por melhoria (Richardson, 2008; Braithwaite *et al.*, 2018);

- *Capacidade de Aprendizado*: todas as experiências geram uma lição que será utilizada numa situação futura (Yates, 2012; Chiva *et al.*, 2013).

Mesmo sem conhecimento da situação global, os agentes conseguem auto organizar-se, trabalhando em conjunto e de forma coordenada, o que confere ao sistema uma maior

flexibilidade⁵ e resiliência, assim permitindo ao todo reagir mais rápido e melhor do que qualquer agente isoladamente (Perrow, 1999; Bonabeau & Meyer, 2001; Johnson, 2002; Dekker *et al.*, 2011; Dahlberg, 2015).

2.1.2. Resiliência e Antifragilidade

No contexto do mundo complexo em que nos encontramos, a importância da resiliência passou a ser exaltada nas mais diversas áreas – desde estudos sobre os ambientes e os desastres naturais (Holling, 1973, 1996; Walker *et al.*, 2004; Gallopín, 2006; Noran, 2014; Dahlberg *et al.*, 2015), os sistemas sociais (Rutter, 1985; Folke, *et al.*, 2003; Morin, 2007; Castells, 2011; Luhman, 2013; Byrne & Callaghan, 2013; Siemens, 2014; Pentland, 2014; Escobar, 2018), os sistemas económicos (Holling, 2001; Friedman, 2009; Walker & Cooper, 2011; Gai *et al.*, 2011; Hausmann *et al.*, 2014; Anderson *et al.*, 2018), os ambientes corporativos e industriais (Kostova & Zaheer, 1999; Greenwood *et al.*, 2011; Akgün & Keskin, 2014; Hatch *et al.*, 2018), até tantos outros.

À imagem de variadas características dos SAC, a resiliência emerge das múltiplas influências e relacionamentos entre os agentes e o ambiente (Olsson *et al.*, 2004). Distinta da resistência, em que um sistema se protege da ameaça, evitando a todo o custo choques e desordem, a resiliência absorve os distúrbios, permitindo ao sistema recuperar-se e prosseguir as suas atividades, mesmo sob stress (Evans & Reid, 2014; Panteli & Mancarella, 2015).

Contrastando com a primeira definição – na qual era atribuída à resiliência a capacidade de um sistema conseguir manter-se em equilíbrio constante, mesmo sob stress (Holling, 1973) –, Holling, anos mais tarde, viria a definir a resiliência sob um carácter mais dinâmico. Agora, o sistema já não permanece constante e estático face aos choques; ele muda e evolui, sobrevivendo à desordem e galgando novos equilíbrios (Holling, 1996).

Perante dias cada vez mais complexos, recheados de incertezas e em constante mudança, já não basta apenas sobreviver, e os sistemas já não podem fugir dos choques e serem indiferentes ao caos.

Neste contexto, propagar e impulsionar a cooperação entre os agentes e a sua aprendizagem é de extrema importância. Isto porque tais mecanismos propiciam aos sistemas o desenvolvimento da sua Antifragilidade, o que lhes permite sobreviver e evoluir frente à constante desordem (Folke, 2006).

⁵ Capacidade de adaptação e resposta a mudanças e estados incertos (Litvinov *et al.*, 2018).

O termo Antifrágil foi criado por Taleb (2012) e definido como o oposto de frágil (o ‘não frágil’), que está além da resistência e da resiliência. Taleb (2012), através do conceito da Antifragilidade, busca exaltar a capacidade de organizações e mercados de não só sobreviverem à crescente volatilidade e recorrentes crises, mas também de se beneficiarem delas e de outros eventos que normalmente fariam um sistema sucumbir.

Pouco tempo depois, a Antifragilidade passa a ser vista como uma característica emergente dos sistemas complexos em geral, deixando de se restringir ao mercado financeiro.

Ao contrário do que faz Taleb (2012) – que dissocia a Antifragilidade da resiliência e considera esta última equivalente à resistência –, a grande maioria dos autores considera a Antifragilidade sinónimo da resiliência atual (Aven, 2014). Conforme anteriormente descrito, o conceito de resiliência evoluiu, e hoje agrega a capacidade de flexibilidade e de aprendizagem dos sistemas. Tal como a Antifragilidade, que figura como uma mescla de elasticidade e *machine learning* (De Florio, 2014) – ou, simplesmente, como o estágio mais avançado da Resiliência (Hole, 2016).

2.1.3. Estigmergia

Em 1959, o biólogo Pierre-Paul Grassé dá a alcunha de Estigmergia ao movimento organizado e coordenado numa colónia de insetos. O autor observou que no formigueiro não existia qualquer coordenação, planeamento ou hierarquia entre as formigas. O que havia era uma comunicação indireta, em que o comportamento alheio (e o próprio) era influenciado por feromonas deixadas no ambiente, resultando na emergência de um padrão comportamental geral, que possibilitava ao bando (re)adaptar-se constantemente ao meio e às novas demandas (Dorigo *et al.*, 2000; Heylighen, 2015). Na Figura 1, temos a representação do movimento coordenado das formigas na sua busca por comida.

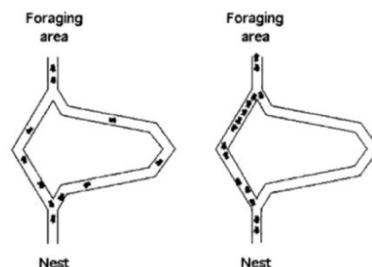


Figura 1 – Movimento estigmérgico de formigas na busca por comida (Fonte: Dorigo *et al.*, 2000)

Todavia, este padrão de movimento não se resume a formigas. Ao olharmos à nossa volta, podemos perceber que estamos rodeados e que participamos em muitos movimentos estigmérgicos (Parunak, 2005). Entre os exemplos, é possível citar manifestações e passeatas, ou ainda a movimentação nas redes sociais, onde *posts* e

hashtags (#) podem encetar campanhas e movimentos, sem qualquer planeamento prévio ou coordenação central.

Tal como definem Marsh & Onof (2008), a estigmergia é o mecanismo existente numa rede de agentes que agem em consenso, através de ações indiretas e sem qualquer coordenação ou planeamento.

Contrariamente ao que podemos pensar, existe uma ordem nos sistemas complexos. No entanto, esta ordem não ocorre de cima para baixo (*top-down*), como nos sistemas mais tradicionais, mas sim de baixo para cima (*bottom-up*), com agentes a interagir entre si, sem qualquer intervenção central (Carlisle & McMillan, 2017).

Dessa ‘nova’ ordem emergem novos elementos, que distinguem o todo da simples soma das suas partes. Justamente por isso, para entendermos o mundo que nos rodeia, torna-se mais importante compreendermos como funcionam as redes organizacionais (as relações, o fluxo, os agentes, etc.) do que analisarmos as suas partes de forma individual (Capra, 2002; Watts, 2004; Waddock *et al.*, 2015).

2.1.4. Teoria das Redes

Assim como outros conceitos e teorias associados à complexidade, a Teoria das Redes também começou a ter uma grande visibilidade de há algumas décadas para cá. Utilizada como ferramenta de análise de cenários, grupos e indivíduos, a Teoria das Redes abrange hoje estudos tão diversos como a proliferação de doenças (Moore & Newman, 2000; Keeling & Eames, 2005; Goh *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2014; Brown *et al.*, 2016), o fluxo de informação (Barabási, 2003; Boccaletti *et al.*, 2006; Watts & Dodds, 2007; Tang *et al.*, 2015; Newman, 2018), as redes *e media* sociais (Kumar *et al.*, 2010; Bakshy *et al.*, 2011; Kramer *et al.*, 2014; Kim & Hastak, 2018), ou as redes e crises económicas (Jackson & Watts, 2002; Schweitzer *et al.*, 2009; Gai & Kapadia, 2010; Goyal, 2006; Haldane, 2013; Amini *et al.*, 2016; Battiston *et al.*, 2016; Bardoscia *et al.*, 2017; Thrift & Amin, 2017).

Como já vimos anteriormente, a grande maioria dos sistemas hoje pertence e está estruturada em redes, sendo de extrema importância entendermos as suas premissas e conceitos, tendo em vista uma correta análise de cenário (Anderson & Vongpanitlerd, 2006).

2.1.4.1. Modelos das Redes

O estudo de redes teve o seu início ainda no século XVIII, na teoria dos grafos criada pelo matemático suíço Leonhard Euler. Através de um grafo⁶, o matemático procurou resolver o Problema das Sete Pontes de Königsberg, tendo comprovado que era possível cruzar todas as pontes passando apenas uma vez por cada uma delas (Marculescu & Bogdan, 2007).

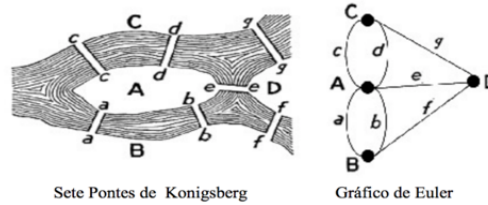


Figura 2 – Problema das Sete Pontes de Königsberg e o respectivo grafo (Fonte: Marculescu & Bogdan, 2007)

Quase dois séculos depois, a Teoria de Redes cresceu e já não se resume a problemas matemáticos e estruturas fixas. Tal como Watts (2004) ressalta, o estudo de redes hoje engloba desde redes sociais a redes económicas, não devendo continuar a aceitar o conceito de estruturas estáticas, mas sim o de redes dinâmicas, em que os seus elementos mudam e evoluem no tempo e no espaço.

Nessa vertente, os matemáticos Erdős & Rényi (1960) propõem o Modelo de Redes Aleatórias. Neste, todos os agentes da rede estarão interligados caso cada um apresente pelo menos uma ligação com um outro agente. As conexões ocorrem de forma aleatória – proporcionando um carácter *randômico* à rede – e, por isso mesmo, a tendência é que a rede seja igualitária, com todos os nodos a possuírem um número semelhante de ligações (Barabási & Bonabeau, 2003). Além disso, quanto mais agentes são adicionados à rede, maior é a probabilidade de grupos (*clusters*) se formarem e mais *randômica* tende a ser a rede (Buchanan & Aldana-Gonzalez, 2003).

Na mesma época, Travers & Milgram (1969) desenvolvem a Teoria dos Seis Graus de Separação, a primeira experiência que buscou estudar o grau de separação entre indivíduos de uma rede. Para o efeito, ele enviou cartas, de forma aleatória, a vários indivíduos, indicando um alvo específico ao qual a carta deveria chegar. Caso não tivessem uma relação direta com o alvo, as pessoas deveriam enviar a carta para alguém que acreditassem ter uma relação mais próxima com o mesmo (amigo ou ‘amigo do amigo’). Por fim, quando as cartas chegaram aos destinos, a maioria havia passado, em média, por outras 5 pessoas (6 elos de ligação) até chegar no alvo (Watts, 2004). Assim, foi possível concluir que estamos num “mundo pequeno”, onde todos os indivíduos se encontram a poucos graus de separação uns dos outros (Barabási, 2003).

⁶ Representação gráfica de uma rede, composta por diversos nodos conectados através de arestas (Watts, 1999; Barabási & Bonabeau, 2003).

Já na década de 90, Watts & Strogatz (1998) estruturaram o modelo *small world*, onde as relações entre os agentes podem ser tanto de ordem aleatória quanto não aleatória, sendo medidas através do coeficiente de aleatoriedade (β) – cujo intervalo vai de $[0,1]$, sendo 1 a menor distância média entre os nós.

Na Figura 3, temos possíveis representações das redes de pequenos mundos.

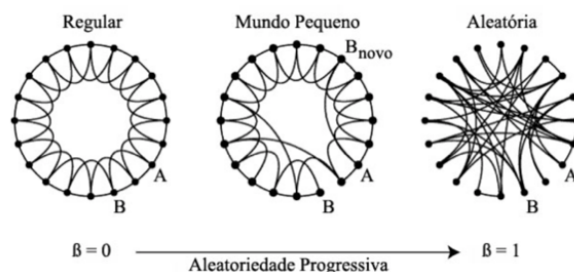


Figura 3 – Redes *small worlds* (Fonte: Watts & Strogatz, 1998)

Refutando a ideia de aleatoriedade, Barabási & Albert (1999), ao estudarem as redes da *World Wide Web* (*www*), procuram demonstrar que os agentes são sempre influenciados pelas suas preferências quando fazem ligações.

Reiterando a não-aleatoriedade das ligações nas redes, Barabási & Bonabeau (2003) sinalizam que os nodos mais interligados tendem a constituir a minoria nas redes, dada a existência do *preferential attachment*⁷ entre as preferências dos nodos, ao integrarem uma nova rede.

Além disso, o autor também comprova que não há um limite de crescimento para as redes, nomeando-as então de “sem escalas” (*scale free*).

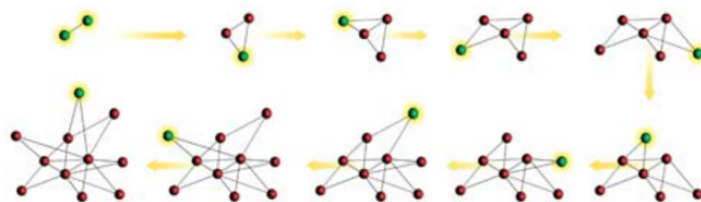


Figura 4 – Adição de novos nodos em redes *scale free* (Fonte: Barabási & Bonabeau, 2003)

2.1.4.2. Análise das Redes: elementos e medidas de centralidade

Após vislumbrarmos alguns modelos de redes, voltamo-nos agora mais para a parte prática da sua análise. Tal como atentam Guleva *et al.* (2017), a dinâmica de uma rede é determinada pelo comportamento dos seus agentes, ao mesmo tempo que o estado dos agentes resulta das suas características topológicas na rede. Assim, através do uso de

⁷ Fenómeno em que os novos nodos se sentem mais atraídos a conectar-se aos nós mais conetados da rede. Também conhecido como o princípio “*rich get richer*” (Barabási & Bonabeau, 2003).

medidas e da percepção de propriedades das estruturas e dos agentes, chegaremos a respostas inéditas e *insights* úteis para a análise do todo e das suas propriedades (Capra, 2002; Watts, 2004; Barabási, 2009).

Todas as redes são representadas através de um grafo, de ordem G , sendo que:

$$G = (V, E) : E \subseteq V \times V \quad (1)$$

Onde V é o número de vértices (nodos ou agentes) e E é o conjunto de ligações (arestas ou *edges*). Caso haja uma ligação entre dois nodos, estes são denominados de vizinhos ou adjacentes. O número máximo de arestas numa rede limita-se a $\frac{N(N-1)}{2}$, e uma ligação entre dois vértices irá sempre ocorrer, podendo ser direta ou indireta e possuir ou não peso (diferente de 1).

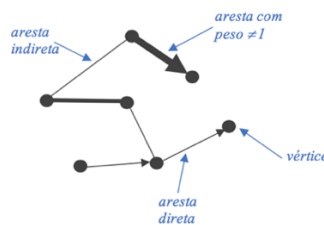


Figura 5 – Grafo e os seus elementos (Fonte: Própria)

Um grafo é comumente representado pela sua matriz de adjacência $A_{n \times n}$, onde na existência de uma aresta entre os nodos i e j , $a_{ij} = 1$, e na inexistência $a_{ij} = 0$. No caso de grafos não orientados, a matriz será sempre simétrica.

A quantidade k de vizinhos de um nodo i representa o grau (*degree*) deste nodo. O grau médio de G é dado por:

$$\bar{k} = \frac{1}{V} \sum_{i \in V} k_i \quad (2)$$

E, numa rede direcionada, será o somatório das arestas de entrada (k^{in}) com as arestas de saída (k^{out}). Aos vértices com grau elevado, é dada a denominação de *hubs*.

A noção de centralidade é fundamental para medirmos a importância dos agentes na rede. Dependendo da estrutura da rede, o grau pode ou não ser a principal medida de centralidade e de importância de G . Como exemplos, no grafo estrela (Figura 6), fica evidente que o grau é a medida de importância.

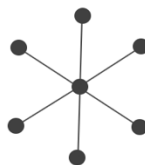


Figura 6 – Grafo estrela (Fonte: Própria)

Entretanto, no grafo da Figura 7, o mesmo não se aplica.

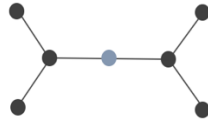


Figura 7 – Grafo comum (Fonte: Própria)

Por oposição ao que se acreditava, a importância de um agente não deve ser relacionada somente com o seu tamanho ou as suas características individuais, mas sobretudo com a sua posição na rede (Galbiati *et al.*, 2013; Battiston *et al.*, 2013). No caso da Figura 7, assim como em diversos outros casos, medidas alternativas de centralidade deverão ser utilizadas para medirmos a importância dos vértices. A proximidade (*closeness*) e a intermediação (*betweenness*) são algumas delas (Borgatti & Everett, 2006).

No *closeness*, um nodo é mais importante quanto mais próximo dos outros nodos estiver. O seu valor é o inverso da soma da sua distância aos outros nodos, e calculado através de:

$$c(v) = \frac{1}{\sum_{a \in V} d(v, a)} \quad (3)$$

Já no *betweenness*, o nodo mais importante será o que estiver em vários caminhos entre outros nodos – caso do grafo anterior (Figura 7). Sendo p_{ab} o número de caminhos entre os vértices a e b e p_{avb} o número de caminhos entre a e b que passam por v , o valor do *betweenness* de v será:

$$b(v) = \sum_{a, b \neq v} \frac{p_{avb}}{p_{ab}} \quad (4)$$

Ainda quanto às medidas de centralidade, existem as chamadas medidas de centralidade de *feedback*, que levam em conta a cadeia atrelada ao nodo para medir a sua importância, calculando de forma recursiva a influência (ou impacto) de um ou mais agentes nos restantes agentes, por toda a rede (Battiston *et al.*, 2012).

Entre essas medidas, destacamos (e utilizamos no nosso trabalho) o *PageRank* – algoritmo que atribui um peso (de importância) para cada nodo. Proposto inicialmente por Brin & Page (1998), o *PageRank* pretende ordenar os resultados de busca do Google conforme a sua importância. Para o algoritmo, quanto mais páginas direcionassem os usuários para uma página i , mais importância teria i . Além disso, a importância das páginas de origem também era agregada no cálculo. Assim, o *PageRank* de uma página (ou de um nodo da rede) pode ser calculado por:

$$PR(i) = (1 - d) + d \sum_{v \in S(i)} \frac{PR(v)}{N_v} \quad (5)$$

Onde $S(i)$ é o conjunto de páginas origem (que direcionam para i), N_v é a quantidade de ligações que saem de v , e d é um fator de amortecimento que tem valor entre 0 e 1.

2.1.4.3. Redes Multilayers

As redes, as suas representações e medidas, tal como vimos até agora, são baseadas no que chamamos de redes simples ou *monolayers*. Nestas, todos os nodos e relações são representadas num único nível. Ao fazer isso, estamos a reduzir todos os nodos a uma caracterização idêntica e a um único período.

Para algumas análises, esta simplificação não acarretará qualquer problema. Não obstante, na grande maioria dos casos, estaremos a incorrer em erros ao vislumbrarmos as redes num único nível (Cozzo *et al.*, 2016).

Tal como De Domenico *et al.* (2013, 2015) salientam, a análise das redes pode incidir sobre algumas falhas ao agregar várias informações – e abstrair tantas outras – num único tipo de relação entre os nodos. Visto que a grande maioria dos indivíduos possui n critérios que os interligam aos outros seres, e que várias dessas relações se alteram com o passar do tempo, o correto, para uma análise mais fidedigna dos cenários reais, e assim mais eficiente, é utilizarmos redes *multilayers* (Kivelä *et al.*, 2014).

Estruturadas em várias camadas, em que cada uma representa um período ou um tipo de característica dos nodos ou da sua relação, as redes multiníveis permitem-nos vislumbrar de forma mais ampla e profunda os sistemas e as relações entre os seus agentes (Boccaletti *et al.*, 2014).

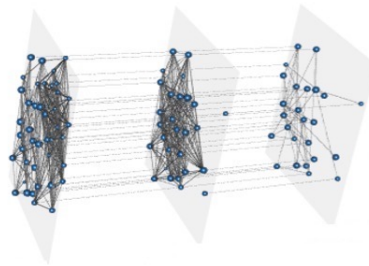


Figura 8 – Rede Multilayer (Fonte: Própria)

A sua representação é igual à de um grafo simples G , mas com várias camadas.

$$G = (V, E_a) : E_k \subseteq V \times V \forall k \in \{1, \dots, a\} \quad (6)$$

Onde a corresponde ao número de camadas que a rede tem.

Por fim, importa ressaltar que a sua análise também é realizada através de medidas de centralidade e que os seus resultados são distintos dos que obteríamos ao juntar as análises separadas das camadas (como se cada uma fosse uma rede simples). Tal vem evidenciar o erro de não se utilizarem *multilayers* para análise da grande maioria das redes (De Domenico *et al.*, 2016).

2.2. O Sistema Financeiro

Economia e mercado financeiro influenciam-se e co-evoluem mutuamente (Song & Thakor, 2010). Assim, para entendermos o que é o sistema financeiro hoje, devemos retroceder um pouco e analisarmos a economia e o mercado mundial do século XIX.

Nesse período, víamos os sistemas financeiros nacionais limitados pelas barreiras geográficas dos países. Paralelamente, o comércio internacional começou a expandir-se e a requisitar um movimento semelhante dos bancos, iniciando assim, a nível mundial, o movimento de expansão bancária (Calomiris & Carlson, 2017).

Saltando para o século XX, vislumbramos já um cenário de constante comércio entre os países. Nesse contexto, vemos a emergência do padrão-ouro – acordo através do qual pagamentos internacionais e taxas de câmbio estão vinculadas à reserva de ouro das nações, ditando assim a criação e a circulação monetária destas (Datheïn, 2005). Com este lastro, imaginava-se que o mercado naturalmente ajustaria a sua balança comercial e a oferta monetária. Contudo, em virtude das diferenças estruturais dos países e das assimetrias do comércio entre os mesmos, tal ajuste nunca ocorreu e, na prática, o que tínhamos no período pré-Primeira Guerra Mundial era o padrão libra-ouro, onde a economia se estruturava à luz da hegemonia britânica (Miller, 1990; Baer *et al.*, 1995).

Todavia, da Primeira Guerra Mundial acabou por resultar a decadência da Inglaterra, o que levou à abolição do padrão libra-ouro. Diante disso, a instabilidade económica propaga-se, acompanhada de práticas protecionistas e desvalorizações cambiais.

Na busca por diminuir tal instabilidade, temos a criação, em 1930, do BIS (Banco de Compensações Internacionais), cuja missão é “fomentar a cooperação entre os bancos centrais e as outras agências, em busca de estabilidade monetária e financeira” (BCB, 2018).

Poucos anos depois, na Conferência de Bretton Woods, alguns países intensificam os seus esforços para reduzir as tensões económicas e fomentar as suas economias e o seu desenvolvimento. Instituições e regras, tais como o FMI (Fundo Monetário Internacional), o BIRD (Banco Mundial), as taxas fixas de câmbio e o padrão dólar-ouro são criadas (Datheïn, 2005). Enquanto a função do FMI é viabilizar a manutenção de

taxas fixas de câmbio, a fim de fomentar o comércio internacional (International Monetary Fund Staff, 2005), a incumbência do BIRD é fornecer empréstimos para os países (principalmente o Japão e os países europeus) se reerguerem após as guerras (Gilbert *et al.*, 1999).

Nas décadas seguintes, vemos o fortalecimento dos sistemas financeiros e o desenvolvimento de bancos fora do eixo “EUA-Europa-Japão” (Saddi, 2001). Com o crescimento econômico dos BRICs⁸, vemos bancos chineses e brasileiros galgarem importantes posições no mercado internacional (Vieira & Veríssimo, 2009). Ao mesmo tempo, com déficits na sua balança de pagamento, os EUA incorporaram medidas mais restritivas na sua regulamentação financeira, o que induziu alguns dos seus bancos a instalarem-se no exterior.

Neste clima de sublevação, presenciamos o fim do padrão dólar-ouro e o contínuo aumento da instabilidade financeira (Datheïn, 2005). Para contenção dessa instabilidade, temos a criação, em 1975, do Comité da Basileia, cujo objetivo é melhorar o entendimento e o desempenho da regulamentação bancária mundial.

No seu primeiro Acordo (Basileia I), assinado em 1988, algumas diretrizes para adequação de capital dos bancos aderentes são propostas. A exigência de um mínimo de capital próprio busca igualar as condições competitivas entre os bancos americanos, os europeus e os restantes bancos (Carvalho, 2005).

Todavia, mesmo com a ampla adesão ao Acordo de Basileia e o crescente desenvolvimento da regulação prudencial, a instabilidade não cessa e novas crises assolam o cenário internacional. A possível incapacidade de pagamento de alguns países ao FMI e a crescente concorrência entre os bancos abrem um espaço para novos *players* e inovações no mercado financeiro. Surgem assim os derivativos, no contexto da Revolução das TIC (Carlson & Mitchener, 2005).

Criados com o intuito de aumentar a flexibilidade e segurança dos agentes (aplicador e tomador) financeiros, os derivativos acabaram por gerar uma grande especulação, impulsionando a instabilidade macroeconómica. Tal ocorreu porque eram negociados sem grande controlo, induzindo margens de segurança insuficientes e avaliações de riscos cada vez mais precárias (Coutinho & Belluzzo, 1998).

Nesse cenário, mais de uma centena de crises eclodiram à escala mundial. Tal como Boyer (2007, 2013) atenta, desde a década de 70, com o agravamento da instabilidade, há

⁸ Acrónimo que se refere ao Brasil, Rússia, Índia e China, países que se destacam pelo seu potencial de desenvolvimento económico (O’Neill, 2001).

uma sucessão de crises financeiras nacionais que perseveraram e resultaram na grande crise global.

Além disso, no final da década de 90, a Lei Glass-Steagall, que estava em vigor desde 1933, foi revogada. Criada após a Crise de 29, esta determinava a separação entre bancos comerciais e financeiros, a fim de evitar a formação de cartéis ou monopólios e um possível colapso financeiro, tal como ocorreu em 1929 (Herbst & Duarte, 2013).

Com a sua revogação, tornava-se possível a formação de grandes conglomerados, que sozinhos poderiam ditar o futuro do mercado financeiro. Ganha então destaque o conceito de bancos “*too big to fail*” – bancos de grandes proporções, extremamente importantes para o sistema financeiro e para economia global, e que, por isso mesmo, quando em necessidade, devem receber ajuda de governos e bancos centrais (O’Hara & Shaw, 1990; Zhou, 2010).

A juntar a isto, avanços tecnológicos das últimas décadas auxiliaram (e muito) a internacionalização da economia em geral. Com a Revolução das TIC, as barreiras físicas foram colocadas abaixo, e o desenvolvimento e a oferta de novos produtos foram impulsionados, causando um aumento de volume, de velocidade e de complexidade do sistema financeiro global (Dathein, 2005).

Os bancos deixaram de ser apenas concorrentes e passaram a criar vínculos, interligando-se e movimentando volumes enormes de ativos, com garantias insuficientes e riscos elevados (Boyd & Nicoló, 2005; Cohen-Cole *et al.*, 2012).

Nesse cenário, permeado de complexidade, o caráter de importância dos bancos já não está associado exclusivamente ao tamanho das instituições (Battiston *et al.*, 2013).

Tal como pontua o Comité de Basileia, a importância de um banco tem um caráter sistémico, e deve ser relacionada com o impacto que o fracasso deste banco pode ter no sistema financeiro e na economia. Na sua definição de bancos globais sistemicamente importantes (G-SIBs), incorpora-se, além do tamanho do banco, o seu grau de interconexão, a existência de substitutos, o seu grau de atividade global (interjurisdicional), e a sua complexidade (BCBS, 2018).

O vislumbre do sistema financeiro enquanto sistema complexo já não é novidade. Hoje, há um consenso de que devemos analisar o sistema financeiro e seus agentes sob a ótica da complexidade (Allen & Gale, 2000; Haldane, 2009; Vitali *et al.*, 2011).

Principalmente após a crise de 2008, ficou evidente que as instituições financeiras e os seus agentes pertencem a redes complexas, e isto já não deve voltar a ser negado nem abstraído (De Masi *et al.*, 2006; Haldane & May, 2011; Battiston *et al.*, 2012; Delpini *et al.*, 2013; Bardoscia *et al.*, 2017).

Por sistema financeiro entendemos um agrupamento de bancos e instituições financeiras não-bancárias, tais como seguradoras e fundos de pensão, de investimento e de *hedge*. Tal como um SAC, os sistemas financeiros são compostos por agentes idiossincráticos, dotados de capacidade de aprendizagem e adaptação (Arthur *et al.*, 1997). Adicionalmente, mostram-se dinâmicos, não lineares, auto organizados e emergentes (Johnson *et al.*, 2003; Chen & Kenney, 2007; Helbing, 2012; Guleva *et al.*, 2017).

Kato *et al.* (2010) ratificam o comportamento não linear dos sistemas financeiros ao demonstrarem que pequenas variações nas condições iniciais geram grandes variações futuras.

No geral, os modelos de redes interbancárias têm instituições financeiras como vértices e dependências financeiras como arestas (Gai *et al.*, 2011; Vitali *et al.*, 2011). A uma escala mundial, trabalhos de análise do sistema financeiro local e global são desenvolvidos e estruturados nesse padrão – tal como Boss *et al.* (2004) na Áustria, Soramäki *et al.* (2007) nos EUA, Iori *et al.*, (2008) na Itália, Cont *et al.*, (2013) no Brasil, Langfield *et al.*, (2014) no Reino Unido, Müller (2006) na Suíça, Poledna *et al.* (2015) no México, entre tantos outros.

Todavia, apesar dos grandes avanços que o uso de redes trouxe para a análise dos sistemas financeiros, ainda há muito trabalho pela frente. A escassez de dados, decorrente de restrições de confidencialidade, limita a estruturação do sistema financeiro a redes *monolayers*, que geralmente são uma simplificação perigosa do cenário real (Boss *et al.*, 2004; Mistrulli, 2011; Battiston *et al.*, 2012; De Domenico *et al.*, 2013).

Com a franca ascensão de inovações financeiras, as relações interbancárias tornaram-se ainda mais complexas, ocorrendo por diversas vias (Lux & Westerhoff, 2009). O sistema adquiriu um caráter dinâmico, o que impossibilita o seu real vislumbre apenas num grafo (Aldasoro & Alves, 2018).

Como Poledna *et al.* (2015) destacam, ao resumirmos a rede a um único nível, estamos a limitar o vislumbre das variáveis presentes no sistema. Ao fazermos isso, acabamos por excluir informações importantes, o que tende a gerar erros na análise do sistema (Kivelä *et al.*, 2014).

Assim, a fim de evitarmos tais problemas, o ideal é angariar o máximo de informações úteis e transcrevê-las numa rede multicamada (*multilayers*), na qual, simultaneamente, abrangemos diferentes tipos de propriedades dos nodos e/ou relações entre estes (Boccaletti *et al.*, 2014).

Por fim, a percepção de que os bancos estão interligados e que isso influencia o desenvolvimento deles próprios e do mercado direcionou as atenções para o risco sistémico⁹ existente na rede. O foco agora já não se limita a verificações individuais dos bancos (microprudencial), mas sim a uma análise macroprudencial e a uma possível ocorrência de contágio – onde um choque pontual pode alastrar ao longo do sistema interbancário e resultar num colapso do mesmo e, quiçá, da economia nacional (Battiston *et al.*, 2012; Bardoscia *et al.*, 2017).

2.3. Gestão de Risco no Mercado Financeiro

Por risco, podemos entender: a representação da incerteza quanto aos resultados atrelados tanto à possibilidade de ganhos quanto à exposição a perdas (Solomon *et al.*, 2000).

No contexto financeiro, o risco é representado pela probabilidade de um investimento não dar o retorno esperado – probabilidade de perda (Alcarva, 2011). A sua representação é a própria variância do retorno, e a ela se atrela tudo o que de alguma maneira pode impactar o capital e o seu rendimento (Amaral, 2015).

Tradicionalmente pautada por práticas defensivas que buscam minimizar esta variância do retorno, a gestão de riscos visa proteger as organizações de possíveis perdas financeiras (Meulbroek, 2002).

Baseada em modelos estáticos e análises individualizadas dos agentes, a gestão de risco tradicional intenta prever comportamentos, representando-os habitualmente através de distribuições normais (Hole, 2016). Na sua busca por estabilidade, os seus modelos limitam-se a cenários rotineiros e excluem eventos de cauda (de baixa probabilidade de incidência) – também conhecidos como *X-Events* ou Cisnes Negros¹⁰ (Stulz, 1996; Taleb, 2010; Casti, 2012).

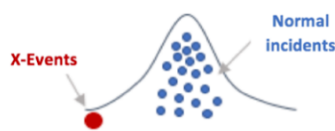


Figura 9 – Distribuição Normal de uma função de probabilidade (Fonte: Própria)

Todavia, como Persaud (2012) já destacava, um ambiente sem riscos é inóspito para o crescimento. Tal se deve ao facto do equilíbrio constante não ser favorável para o

⁹ Risco sistémico também pode ser entendido com o risco de um *default* generalizado, ou seja, onde uma grande parte do sistema financeiro não consegue cumprir com os seus compromissos (Carvalho, 2005).

¹⁰ Evento raro que tem um grande impacto na sociedade e é explicável, porém impossível de ser previsto pelo vislumbre do passado (Taleb, 2010).

desenvolvimento dos SAC. Para haver crescimento económico e evolução das instituições, é preciso a existência de desordem e a tomada de riscos, e não a eliminação destes.

Devemos aceitar a imprevisibilidade e adotar novos métodos que forneçam *insights* úteis sobre a sensibilidade e a capacidade de ajuste dos sistemas perante variações futuras (Gallopín, 2006; Gai *et al.*, 2011; Kennon *et al.*, 2015; Rafi *et al.*, 2016).

2.3.1. Principais Riscos presentes no Mercado Financeiro

O sistema financeiro, pela sua natureza específica, acaba por ser suscetível a diversos tipos de riscos, inexistentes noutros setores (Securato, 1996). Tal como destaca Peleias *et al.* (2007), o ato de assumir riscos está embutido nas atividades dos agentes financeiros.

Em síntese, podemos dividir os riscos do setor em financeiros – relacionados com os ativos e passivos monetários dos agentes – e não-financeiros – inerentes à posição monetária da instituição (Amaral, 2015).

Por serem inerentes ao sistema, os riscos financeiros ganham destaque, e aqui abordaremos três deles: Risco de Crédito, de Mercado e de Liquidez.

1) *Risco de Crédito*: É a probabilidade do tomador de crédito não cumprir com as suas obrigações. Pelo facto dos bancos serem intermediários financeiros – que usam a poupança de uns para emprestar a outros –, o risco de crédito é visto como o mais importante do setor bancário (Bessis, 2015).

Os seus níveis são assegurados pelas empresas de *rating* de crédito – sendo a Moody's, a Fitch e a Standard & Poor's as mais conhecidas – e enquadram-se em designações que vão desde AAA (ou Aaa) até D.

2) *Risco de Mercado*: Consiste na possibilidade de perdas decorrentes de alterações nos preços e taxas de mercado, como preços de mercadorias, cotações de ações, taxas de juros, taxas de câmbio, etc. (Silva, 2007; Ameer, 2009);

3) *Risco de Liquidez*: É a falta de capacidade financeira das instituições para liquidarem as suas obrigações em dia, necessitando para o efeito de uma alienação muito acelerada dos ativos, o que por sua vez causa a queda de preços e a desvalorização dos mesmos (BCBS, 2008; Bessis, 2015).

Apesar de serem riscos diversos, há uma relação direta entre eles. Tanto o risco de mercado como o risco de liquidez estão diretamente atrelados ao crédito e são potencializados pela crescente complexidade e diversidade dos produtos financeiros, que aumentam a instabilidade do setor e, por vezes, levam as instituições a manterem posições ativas e passivas desconexas, seja em prazos, taxas ou moedas (Neves, 2010).

Após a Crise de 2008, ficaram evidentes os problemas na gestão de risco das instituições financeiras. Perante isso, é lançado, em 2010, o Acordo Basileia III, que define os padrões quantitativos dos bancos, com o objetivo de torná-los mais resistentes a potenciais dificuldades a curto prazo e a possíveis desencontros de posições ativas e passivas (BCBS, 2010; Amaral, 2015).

Além dos riscos financeiros (de crédito, de mercado e de liquidez), também é importante atentarmos ao risco operacional. O risco operacional é definido como a probabilidade de perdas decorrentes de falha ou inadequação de processos internos, pessoas e sistemas, ou causadas por eventos externos (BCBS, 2003). No caso das fontes internas, o risco ocorreria por falhas operacionais, oriundas de comportamento humano, processos ou tecnologia. Já o risco por fontes externas é atrelado a uma reação imprópria face a ações políticas, governamentais, sociais e outras (Crouhy *et al.*, 2000).

Por fim, após discorrermos sobre os principais riscos que rodeiam as instituições financeiras, importa pontuarmos as suas diferentes fontes de ocorrência (variáveis ou subcategorias), pois conhecê-las tende a auxiliar na realização de uma gestão de risco mais eficiente (Bessis, 2015; Amaral, 2015).

Tipos de Risco	Fontes	Descrição
Crédito	Incumprimento	Risco de <i>default</i> , em que as obrigações não são honradas.
	Degradação (garantia ou crédito)	
	Concentração	
	Colaterais	
Mercado	Taxa de Juros	Possibilidade de perdas perante alterações de mercado. Risco associado a instrumentos financeiros.
	Taxa de Câmbio	
	Preços e Cotações	
	Risco Imobiliário	
Liquidez	Fluxos de Caixa	Risco de <i>default</i> , em que obrigações não são honradas.
	Concentração	
Operacional	Fraudes e Falhas	Probabilidade de perdas decorrentes de inadequação ou falhas em processos internos, pessoas ou sistemas, ou de eventos externos.
	TIC	
	Segurança	

Tabela 2 – Tipos de Riscos (Fonte: Bessis, 2001; Amaral, 2015)

2.3.2. Risco Sistêmico e o Contágio Financeiro

Visto que as metodologias existentes excluem riscos significativos para a trajetória dos sistemas – na sua grande maioria, por serem de baixa incidência e por terem alto custo de gestão – e que é impossível prever todos os cenários possíveis, uma abordagem mais abrangente e dinâmica passa a permear a cultura das organizações. Tendo a sua base na análise dos sistemas complexos – em que estrutura e relações existentes no mercado

passam a ser variáveis determinantes para a gestão de risco –, torna-se possível verificar probabilidades cumulativas que possam resultar em transição de fase ou em efeitos de cauda longa (Castanheira & Rodrigues, 2006; Haldane & May, 2011).

Para além disso, ao fazer-se uso da complexidade para se compreender o sistema financeiro, pressupostos tradicionais como o determinismo, o mecanicismo e a previsibilidade (linearidade) deixam de fazer sentido (Arthur, 1999; Foley, 2003).

Em contrapartida, o grau de interconexão entre os agentes passa a ser determinante para a resiliência do sistema (Allen & Gale, 2000), visto que a maioria das suas ocorrências emergem destas interações (Lux & Westerhoff, 2009).

Seguindo esta linha, May *et al.* (2008) destacam que, ao longo do processo de evolução, os sistemas remanescentes resistiram e evoluíram graças a alguns dos seus atributos estruturais (emergentes). Por isso, ao invés de tentarmos prever o futuro, e a fim de evitarmos eventos de risco, deveríamos focar-nos em descobrir que atributos são esses e como estimularmos o seu desenvolvimento.

Pertencendo o sistema financeiro e as suas instituições a uma grande rede, onde nenhum agente se encontra isolado dos restantes agentes ou do meio, não devemos continuar a utilizar análises individuais. Devemos sim adotar modelos macroprudenciais baseados no risco sistémico e na integração de todos os restantes riscos envolvidos no mercado financeiro (Adrian & Brunnermeier, 2011; Benoit *et al.*, 2013).

Tal como destacam Martínez-Jaramillo *et al.* (2010), é indispensável compreender o que é o risco sistémico se queremos preservar o sistema financeiro. Em termos gerais, o risco sistémico é a probabilidade de uma reação em cadeia onde se dá a ‘queda’ de agentes interligados, isto é, quando um evento pontual (num único agente) pode espalhar-se e gerar perdas ao longo do sistema (Kaufman, 1994).

Especificamente no cenário financeiro, o risco sistémico ocorre quando um participante não cumpre com as suas obrigações contratuais e leva outros participantes à inadimplência, gerando uma reação em cadeia onde há uma dificuldade financeira generalizada (BIS, 2002).

Nesse contexto, Billio *et al.* (2010, p. 1) descrevem o risco sistémico como uma “*série de defaults correlacionados de instituições financeiras que, ocorrendo num curto espaço de tempo, provoca diminuição de liquidez e perda de confiança generalizada no sistema financeiro como um todo.*”

Independentemente da definição adotada, o importante é frisar que o sistema financeiro pode ter o seu funcionamento ameaçado por uma ocorrência individual, capaz de alastrar pelo sistema.

Como Schwarcz (2008) já destacava, independentemente da definição adotada, o risco sistêmico é sempre composto por um choque inicial aleatório e um mecanismo de contágio.

Por contágio entende-se a propagação de um choque (ou falha) através do sistema. No cenário financeiro, o contágio ocorre quando os problemas de uma instituição passam a prejudicar outras instituições a si relacionadas (Chan-Lau *et al.*, 2007).

Assim, após a Crise de 2008, visando evitar movimentos de contágio, os órgãos reguladores passaram a buscar maneiras de verificar a influência dos agentes no sistema, isto é, que instituições seriam mais sistemicamente relevantes – que caso fracassassem, teriam um impacto maior no sistema financeiro global e na economia em geral (Roukny *et al.*, 2013).

Surge assim o que o Comitê de Basileia denomina de G-SIBs (*Global list of Systemically Important Banks*). Através deste, a importância das instituições financeiras passa a ser associada a múltiplos indicadores tidos como críticos à estabilidade do sistema financeiro, por gerarem externalidades negativas (BCBS, 2018).

2.3.3. A Evolução da Gestão de Risco

Tal como já vimos, a gestão de risco estruturada em abordagens singulares – onde cada área de risco era gerida separadamente – e estocásticas foi sendo substituída por uma gestão mais ampla e dinâmica, conhecida como gestão de risco empresarial ou ERM (*Enterprise Risk Management*) (Liebenberg & Hoyt, 2003; Hole, 2016).

Na ERM, procura-se alinhar estratégia, processos, pessoas, tecnologia e conhecimento com o intuito de encontrar a melhor maneira de gerir os riscos e, ao mesmo tempo, criar valor para os acionistas das empresas (Meulbroek, 2002). Nesta, o risco é vislumbrado como um todo, onde cada área é uma parte do sistema integrado (Simkins & Ramirez, 2007). O seu propósito não é evitar ou extinguir os riscos, mas sim determinar o nível de risco aceitável e buscar estratégias para se beneficiar dele (Lam, 2000).

Tudo isto vem em consonância com o que é elencado pelo COSO¹¹, que enumera entre as finalidades do gerenciamento de risco: 1) alinhamento do apetite de risco à estratégia traçada; 2) fortalecimento das decisões em resposta aos riscos; 3) redução do imprevisto e prejuízos operacionais; 4) identificar e administrar riscos múltiplos entre empreendimentos; 5) aproveitar oportunidades; 6) otimizar capital (COSO, 2004 *apud* Borges, 2010).

¹¹ *Committee of Sponsoring Organizations of Treadway*, organização privada criada nos EUA, em 1985, com o fim de auxiliar no processo de prevenção de fraudes empresariais.

Fora as diferenças já assinaladas entre a Gestão de Risco Tradicional e a Empresarial (ERM), na Tabela 3 destacamos algumas outras citadas por Olson & Wu (2008).

Gestão de Risco	
Tradicional	Empresarial
Risco vislumbrado como perigos individuais	Risco sob a perspectiva da estratégia empresarial
Identificação e avaliação dos riscos	Elaboração de uma carteira de riscos
Busca evitar ou atenuar riscos	Busca otimizar a ação perante o risco
Não há responsáveis pelos riscos	Responsáveis pelos riscos são definidos
Quantificação aleatória dos riscos	Monitorização e medida dos riscos
Gestão de Risco pontual e desconexa	Disseminação de informações para ampliar cultura de gestão de risco

Tabela 3 – Gestão de Risco Tradicional x Empresarial (Fonte: Olson & Wu, 2008)

Dadas as suas características, a ERM garante uma abordagem ampla dos riscos, abrangendo desde os riscos idiossincráticos¹² aos riscos sistémicos (Lai *et al.*, 2010).

De uma maneira geral, a gestão de risco no modelo ERM possui entre as suas etapas:

1) *Comunicação Efetiva de Risco e Responsabilidade*: disseminar, entre todos os colaboradores da organização, os tipos e a natureza de riscos importantes para a empresa. Para tal, promove-se uma comunicação sempre aberta entre os funcionários, de forma a que todos compreendam o seu papel e as suas responsabilidades em relação aos riscos;

2) *Definição da Filosofia ERM da empresa*: é o alinhamento das práticas de gestão de risco com a estratégia corporativa, de forma a obter vantagens competitivas;

3) *Identificação e Resposta ao Risco*: identificação de riscos e escolha das melhores ações – evitar, reduzir, partilhar ou aceitar – para a sua gestão;

4) *Quantificação de Risco*: após a identificação dos riscos, e antes de se definir que tipo de resposta aplicar, geralmente converte-se os riscos em valores, normalmente monetários, a fim de auxiliar na decisão de resposta da organização perante os riscos;

5) *Medição de Desempenho*: esta é a última etapa, onde após se mensurar os riscos se identificam os indicadores (KRI)¹³ que são relevantes para o negócio. Após se definir o plano de ação diante destes, identificam-se os principais indicadores de desempenho (KPI)¹⁴ dos funcionários (Lai & Samad, 2010).

Após a Crise de 2008, os benefícios do uso da abordagem ERM tornaram-se consensuais. Todavia, há ainda uma grande controvérsia quanto aos modelos de

¹² Riscos idiossincrático são riscos específicos ou de mercado, que podem ser minimizados, ou até eliminados com a diversificação eficiente do portfólio de ações (Campbell *et al.*, 2008).

¹³ Key Risk Indicators.

¹⁴ Key Performance Indicators.

mensuração de risco utilizados pelas instituições financeiras e pelos órgãos reguladores (Arena *et al.*, 2010).

2.3.4. Modelos de mensuração de risco – *VaR* e *CoVaR*

À semelhança do que acontece com as abordagens de risco, também os modelos para a sua medida se encontram em constante evolução (Capelletto, 2006). Entre as medidas, a mais utilizada entre as instituições financeira é o *VaR* (*Value at Risk*).

Idealizado em 1996 pelo J.P. Morgan S/A, o *VaR* fornece a perda máxima que uma instituição pode esperar ao longo de um período, sob condições normais de mercado e a um certo nível de confiança (Cabedo & Moya, 2003; Engle & Manganelli, 2004).

Como definição, adotamos:

$$Var_{\alpha}(X) = -inf\{x|f(x) > X\} \quad (7)$$

onde o sinal negativo sinaliza a “pior perda”, o α refere-se ao nível de confiança adotado (normalmente 1, 5 ou 10%), e X é o processo de retornos da carteira ou ativo, admitindo-se $f(x) = Pr(X_i \leq x_i)$.

O *VaR* pode ser calculado de várias formas e usado tanto para mensurar o risco de mercado quanto o risco de crédito. Entre os métodos existentes para o seu cálculo, temos o método Variância-Covariância, a simulação de Monte Carlo e a simulação histórica (Jorion, 2007; Damodaran, 2008).

Todavia, apesar da sua grande disseminação, o *VaR* possui dois grandes problemas: primeiro, restringe-se a uma abordagem microprudencial, onde a avaliação de risco é feita de forma isolada para cada banco (sem levar em conta os restantes agentes); segundo, a sua premissa de condições normais de mercado, associada à distribuição normal (Stulz, 1996; Benoit *et al.*, 2013).

Num cenário hipotético, talvez isso não fosse tão grave, mas após a Crise de 2008 ficou evidente que o *VaR* é um método limitado para a gestão de risco de instituições financeiras, pois restringe-se a abordar os eventos medianos (Beder, 1995; Farrel *et al.*, 2009).

Como opção, alguns estudos indicam o uso do *VaR* em conjunto com testes de *stress*. Estes complementariam o *VaR*, uma vez que não incorporam fatores qualitativos e não se limitam a uma faixa de eventos nem a uma probabilidade (Beder, 1995; Berkowitz, 2000).

Ainda assim, mesmo fornecendo melhorias, o uso de testes de *stress* não auxiliou na previsão nem no impedimento da Crise de 2008, uma vez que a abordagem era

inadequada ao cenário real, na medida em que se mantinha limitada a análise microprudencial (Haldane, 2009).

A avaliação das instituições de forma individual e isolada não pode ser expandida para retratar e analisar o sistema financeiro. Ao fazermos isso, estaríamos a excluir externalidades da rede interbancária, tais como o efeito de contágio ou o *spillover effect*¹⁵ (Morris & Shin, 2009).

Como alternativa a uma análise macroprudencial, podemos elencar o Co-Risk (Chan-Lau *et al.*, 2007), o SRISK (Brownlees & Engle, 2016), o *CoVaR* (Adrian & Brunnermeier, 2011), entre outros.

Destes, destacamos o *CoVar* (*Conditional Value at Risk*), que é uma extensão do *VaR*, cujo prefixo ‘Co’ se refere a condicionalidade e/ou contágio (Haldane, 2009; Sedunov, 2016).

Em síntese, o *CoVaR* mede o *spillover effect* de um agente do mercado, ou seja, fornece o *VaR* de uma instituição condicionado ao facto desta estar interligada a outras instituições que, simultaneamente, se encontram sob *stress* (Adrian & Brunnermeier, 2011; Almeida *et al.*, 2012).

O $CoVaR_q^{j|i}$ é o *VaR* da instituição *j* condicionado ao *VaR* da instituição *i*, e a sua definição é:

$$CoVaR^{j|x^i=var_q^i} = \hat{d}_q^i + \hat{\gamma}_q^i VaR_q^i \quad (8)$$

Da diferença entre o valor em risco de *j* condicionado ao valor em risco de *i* no quantil *q* e o valor em risco de *j* no quantil *q* condicionado ao valor em risco de *i* na mediana, resulta $\Delta CoVaR^{j|i}$, que representa o efeito de contágio da empresa *i* sobre a empresa *j*, tendo como definição:

$$\Delta CoVaR^{j|i} = CoVaR^{j|x_q^i=VaR_q^i} - CoVaR_q^{j|x_q^i=VaR_{50\%}^i} \quad (9)$$

Adicionalmente, o $\Delta CoVaR$ pode mensurar a contribuição marginal de uma instituição para o risco sistémico do conjunto, sendo então definido como:

$$\Delta CoVaR^{system|i} = \hat{\gamma}_q^i (Var_q^i - VaR_{50\%}^i) \quad (10)$$

¹⁵ Impacto que eventos aparentemente não relacionados de um agente pode causar noutro agente (Benoit *et al.*, 2013)

Apesar do avanço frente ao *VaR*, o *CoVaR* e os restantes métodos supracitados ainda deixam muito a desejar como modelo de mensuração de risco sistémico (Benoit *et al.*, 2013).

Mesmo em conjunto com testes de *stress*, conforme proposto por Bargigli (2014) e Gandy & Veraart (2016), os métodos mencionados ainda deixam margem para erros de previsão. Ao desconsiderarem informações sobre ligações financeiras indiretas, entre outras, tais métodos ignoram o aumento da complexidade do sistema financeiro, o fluxo de informação que ocorre na rede, e o comportamento endógeno dos diferentes agentes (Anand *et al.*, 2015; Iori & Mantegna, 2018).

2.3.5. Medida do Risco Sistémico – Topologia das Redes e outras opções

Tal como já foi destacado por vários estudos, a grande preocupação que assolou o mercado financeiro perante as recentes crises é como manter a estabilidade financeira e evitar o efeito de contágio à falha simultânea de vários bancos (Lehar, 2005; Farrel *et al.*, 2009; Haldane & May, 2011).

Para tal, é necessário compreender e gerir o risco sistémico (Martínez-Jaramillo *et al.*, 2010). Contudo, a falta de informação e a incompletude dos métodos de gestão mais tradicionais dificultam este entendimento e uma correta gestão.

Nesse contexto, estudos associados à Teoria das Redes começam a ganhar destaque. Através deles, é possível perceber que a quantidade de instituições afetadas e o volume de perdas do sistema financeiro não dependem apenas do volume agregado das exposições ao risco, mas também da estrutura do sistema e das relações existentes entre as instituições (Haldane & May, 2011; Bougheas & Kirman, 2015).

Do mesmo modo, no que respeita às características topológicas da rede, foi possível comprovar que quanto mais interligada e diversa for a estrutura, mais resiliente tende a ser o sistema. Tal ocorre porque as perdas pontuais de uma instituição tendem a ser divididas entre mais credores, o que reduz os impactos negativos sob o sistema (Allen & Gale, 2000; Iori *et al.*, 2008; Nier *et al.*, 2007; Lenzu & Tedeschi, 2012; Acemoglu *et al.*, 2013; Montagna & Lux, 2013).

Em contraste, outros estudos evidenciaram que quanto mais densa for a rede, maior é a sua tendência à instabilidade (Gai & Kapadia, 2010; Anand *et al.*, 2012; Battiston *et al.*, 2012; Georg, 2013; Roukny *et al.*, 2013).

Mesclando ambas as ideias, Haldane (2013) e Elliott *et al.* (2014) afirmam que o grau de interconexão de uma rede é-lhe benéfico até certo ponto, isto é, até um determinado

grau as conexões amortecem e abrandam uma possível crise, providenciando resiliência à rede; além desse grau, as conexões impulsionam essa possível crise.

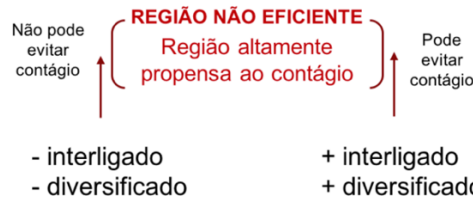


Figura 10 – Propagação de contágio (Fonte: Baseado em Haldane, 2013 e Elliot *et al.*, 2014)

Alguns anos mais tarde, Babus (2016) e Bardoscia *et al.* (2017) demonstram que diante de choques de grandes dimensões, a estrutura mais resistente é a que apresentou um nível mediano de interligações e a presença de *clusters*.

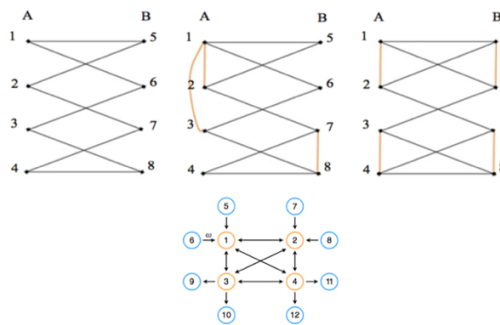


Figura 11 – Estruturas resistentes em grandes choques (Fonte: Babus, 2016 e Bardoscia *et al.*, 2016)

Apesar de ficar evidenciado o grande avanço na medida do risco sistêmico pelo uso de características topológicas da rede, também fica claro que não nos devemos limitar a estas, pois os seus resultados variam conforme as condicionantes – tais como a natureza do choque, a heterogeneidade dos agentes e o estado da economia (Iori & Mantegna, 2018).

Haldane & May (2011) já destacavam que à medida que a complexidade cresce, a instabilidade no sistema financeiro aumenta. Isso não só decorre do grau de integração entre os agentes do sistema e da sua diversificação como também do nível de alavancagem da instituição (Eisenberg & Noe, 2001; Caccioli *et al.*, 2014; Bardoscia *et al.*, 2017; Glasserman & Young, 2015; Brownlees & Engle, 2016).

A alavancagem ocorre quando a instituição possui um volume maior de dívidas do que de ativos, sendo $l = \frac{\text{dívida}}{\text{ativos}}$, onde $l > 1$ = tende a instabilidade e $l < 1$ = tende a estabilidade. Esta é a sua medida individual, então para o sistema utilizamos uma matriz de alavancagem, de forma a verificarmos o risco sistêmico e o nível de exposição (λ).

$$l_i = \sum_{ij} \Lambda_{ij} \quad (12)$$

$$\Lambda^{(0)}, \Lambda^{(1)} \dots \Lambda^{(k)} \rightarrow \lambda^{(0)} < 1 \text{ e } \lambda^{(k)} > 1$$

Adicionalmente, trabalhos como os de Degryse *et al.* (2009), Castrén & Kavonius (2009) e Castrén & Rancan (2013) evidenciaram que características como o tempo, a localização geográfica, o setor económico e o tipo de instrumento interferem na dimensão do impacto financeiro.

Tamanho (Huang *et al.*, 2012; Rahman *et al.*, 2015; Sedunov, 2016), risco soberano (Paltalidis *et al.*, 2015; Pagano & Sedunov, 2016; Black *et al.*, 2016) e itens como capital próprio, liquidez dos ativos e rentabilidade e índices de depósitos (Lehar, 2005; Hovakimian *et al.*, 2012) são também outras das variáveis que figuram entre os estudos como importantes condicionantes do risco sistémico (Varotto & Zhao, 2018).

Em suma, tal como Bisias *et al.* (2012), Danielsson & Zhou (2015) e Danielsson *et al.* (2016) salientam, nenhum método existente é totalmente fiável para a medida do risco sistémico e prevenção de crises, pois todos se estruturam em estimativas e em conjuntos de dados, muitas vezes enviesados e/ou insuficientes (Jeong & Park, 2016).

Como Triana (2009) e Mandelbrot & Hudson (2008) sinalizam, é utópico imaginar que podemos prever o comportamento de um sistema complexo no cenário atual, permeado de incertezas e com proporções globais.

Juntamente com esta utopia, também observamos que não há um modelo único adequado para gestão dos diversos riscos associados aos SAC. Assim, a melhor opção para uma gestão de risco eficiente é utilizar simultaneamente vários métodos, a fim de se diminuir as lacunas existentes em cada um (Bougheas & Kirman, 2015; Giglio *et al.*, 2016; Anand *et al.*, 2017).

2.3.6. Engenharia de Resiliência e Antifragilidade

A grande maioria dos modelos usados na gestão de risco resultam na subestimativa dos riscos existentes, e a confiança neles imputada tem vindo a tornar o mundo muito mais perigoso (Madelbrot & Hudson, 2008; Hole, 2016).

Tal como May *et al.* (2008) e Anand *et al.* (2013) salientam, devemos aceitar, no mundo complexo atual, que a previsão será sempre um processo falho. Hoje, é muito mais útil e eficiente para o bem-estar do sistema e das suas organizações focarmo-nos na análise das características do sistema e dos agentes que lhes conferem resiliência, pois é esta capacidade que lhes permitirá sobreviver e desenvolver-se perante o caos.

Em consonância, Aven (2015) e Taleb (2010) salientam ser muito mais fácil perceber se um sistema é frágil do que tentar prever a ocorrência de eventos prejudiciais. Em dias permeados de complexidade e com agentes e sistemas cada vez mais interligados, X-

Events e cisnes negros proliferam, e a tentativa de previsão destes e de eventos comuns mostra-se, cada vez mais, falha e inútil (Taleb, 2010; Higgins & Perera, 2016).

Em resposta, surge a Engenharia de Resiliência, com métodos que visam identificar e avaliar os riscos existentes, ao mesmo tempo que buscam aprimorar a resiliência do objeto de estudo (Hollnagel & Woods, 2006; Hollnagel, 2011; Righi *et al.*, 2015). Através da adoção de modelos sistêmicos – que aceitam a não-linearidade das ações e incorporam a incerteza e a complexidade entre as suas premissas –, a Engenharia de Resiliência alicerça-se numa estrutura holística para a gestão de riscos. Tal propicia que choques e riscos já não figurem como inimigos dos sistemas, mas sim como propulsores da sua aprendizagem e desenvolvimento (Obrist *et al.*, 2010; Steen & Aven, 2011).

A resiliência, aqui, não é um estado, mas sim um conjunto dinâmico de condições que conferem ao sistema capacidade de (re)agir a choques, sem grandes efeitos na sua estabilidade dinâmica (Hollnagel & Woods, 2006). Organismos resilientes tendem a ser proativos, e exploram melhores opções para lidar com perigos e distúrbios (Johnsen, 2010; Mitchell & Harris, 2012).

Entre as características e variáveis que imputam resistência aos sistemas, podemos destacar: diversidade, conectividade, aprendizagem, redundância, partilha de conhecimento, monitorização e *feedback* constante (Folke, 2006; Hollnagel & Woods, 2006; Bahadur *et al.*, 2010).

Mais do que resistir e sobreviver, os sistemas devem visar a emergência da sua Antifragilidade, a fim de se beneficiar com os choques e a incerteza (Taleb, 2012). Independentemente do cenário, os esforços de desenvolvimento da Antifragilidade dos sistemas serão sempre mais eficazes do que tentativas de prevenção de eventos adversos, uma vez que estaremos a propiciar a evolução contínua do sistema, o que lhe permitirá trespassar qualquer *stress* (Kovalenko & Sornette, 2016; Aven, 2011, 2015, 2017).

3. Artigos e considerações

3.1. Artigo 1

PESARO 2018 : The Eighth International Conference on Performance, Safety and Robustness in Complex Systems and Applications

From Resilience to the Design of Antifragility

Danielle Sandler dos Passos

University Institute of Lisbon, ISCTE/IUL
Faculty of Science of the University of Lisbon, FCUL
The Robotics & Industrial Complex Systems, RICS
Lisbon, Portugal
e-mail: danielle.passos@uninova.pt

Helder Coelho

Department of Informatics of the Faculty of Sciences of
the University of Lisbon, FCUL
Lisbon, Portugal
e-mail: hcoelho@di.fc.ul.pt

Flávia Mori Sarti

School of Public Health of
the University of São Paulo, USP
São Paulo, Brazil
e-mail: flamori@usp.br

Abstract— Resilience has been highlighted for the last few years as one of the most important mechanisms of survival and evolution of systems. However, with the complexity and exponential advance of Information and Communication Technologies (ICT), volatility, uncertainty and disorder have become constant in our daily lives, creating the need for adjustments and improvements in resilience, in order to maintain its efficiency. As a consequence, various skills, such as adaptation, learning, self-organization and others, have been added to it, increasing it to antifragility. Focusing on this process of evolution, this work confronts the dissociation between resilience and antifragility, proving in the end, that antifragility is the resilience in its most advanced form.

Keywords - Resilience; Antifragility; Complexity; Information and Communication Technologies; Stigmergy.

I. INTRODUCTION

Today, with days full of change and uncertainty, shocks and unexpected events have become more frequent, making it difficult to maintain a constant equilibrium and stimulating the emersion of a new mechanism of resilience [1][2], no longer centered on the search for balance nor on the return to its original form, but rather on the development of competences which promote improvements to the systems, allowing them to evolve through stress and disorder.

In this scenario, with increasing complexity and widespread diffusion of Information and Communication Technologies (ICT), learning and self-organization skills present in complex systems become essential to survive, providing to the systems a greater adaptability and efficiency, which allow them not only to resist, but also to evolve in the face of chaos [3].

This "new" mechanism of survival and evolution, called resilience by many, is called antifragility by Taleb [4], describing it as something beyond resilience because it

improves with shocks and it is not only resistant to them. However, such dissociation between resilience and antifragility does not seem coherent to us. Our objective in this work is to demonstrate that antifragility and resilience should not be dissociated since antifragility corresponds to an advanced and improved form of resilience.

The rest of the paper is structured as follows. In Section II, we present a bibliographical review addressing (1) resilience, through its epistemological origin and the definitions of Holling [5][6] and (2) complexity and ICT, and how they are intertwined with resilience. In Section III, we show the antifragility and the evolution of resilience and we compare their definitions in order to prove their similarities. Finally, in Section IV, we present our concluding remarks.

II. RESILIENCE

A. ITS EPISTEMOLOGICAL ORIGIN AND THE HOLLING' DEFINITIONS

Coming from the Latin term "*resiliens*", whose meaning is "to turn back", resilience, in general, refers to the ability of an object (agent or system) to return to or recover its original shape or position after having been stressed [7].

Initially addressed in studies with children, in which it was linked to the degree of adaptation of beings in different situations [8], resilience was defined as: "*the persistence of systems and their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables*" (Holling [5]). However, after other studies, it was evident that resilience is not only related to internal factors (or characteristics of being), but also to external factors [9] - [13].

Still in this light, Rutter [14] states that resilience does not come from the personality of each subject, but from a dynamic process that varies according to each context and which presents itself in different ways, once each person assimilates each problem in a unique way [15].

Moreover, just as we are influenced by the environment and other agents, we also influence them, establishing an

interdependence between systems, agents and environment, from which unpredictable scenarios do emerge, permeated with uncertainties, volatility and instability, in which only dynamic mechanisms will be useful in the search for survival [16]-[20]. This idea is similar to Jen's idea [21], where new non-qualitative features emerge in a structural stability through of certain dynamic characteristics of the system, and the idea of De Florio [22], where resilience is not a property that systems have or do not have, but rather the emerging result of a dynamic process.

In this context, we came to see resilience in a more holistic and systemic way, shown by Holling [6], with the improvement of its previous definition, through the categorization of resilience in:

1) *Engineering Resilience*: initially described as the ability not to suffer from disorder, remaining in constant equilibrium [23], the resilience involved here acquires a more dynamic character, which allows the system to change or move in the face of stress, but, at the end of the process, there is always a return to the initial state or position. To this, in its more static version - where the balance is preserved and always maintained in the same form - the definition of robustness was linked, where robust is the one that remains intact, resistant to shocks and disorder [4];

2) *Ecological Resilience*: linked to the idea of dynamic balance, in which systems change and evolve when they are disturbed [4][6], changing state and/or position after stress, in this strand, adaptation and self-organization mechanisms are responsible for allowing systems to learn and improve with respect to past situations, in order to better take advantage in future ones [24][25].

In line with this broader form, and in view of the interconnections between environment, systems and their emerging properties, a more comprehensive and anti-reductionist approach encompassing complex elements present in our daily lives becomes necessary [4].

B. ITS RELATIONSHIP WITH THE COMPLEXITY & ICT

Broader than the traditional thinking, complex thinking chooses to adopt the duality, recursion and systemicity, with the aim of highlighting and covering all relationships and influences among environment, systems and agents, as well as their results and forms of dissemination [26][27].

Together with complex thinking comes the General Systems Theory (GST), which argues that every system around us is complex, open, dynamic and adaptive. Thus, through the interaction between its parts and with the environment, new properties emerge and allow the survival, adaptation and evolution of the system, through mechanisms of evolutionary selection [16] [28].

In general, Complex Adaptive Systems (CAS) are formed by a set of diverse agents that get directly interconnected and act guided by common goals and by the spirit of cooperation, which allows them to develop collective competencies and evolve as a whole [29]-[32].

Still under the logic of complexity, equilibrium and stability are rejected because they do not provide the system with any learning or stimulus for its improvement. In contrast, the state "on the edge of chaos" and a no-

interference policy with bottom-up structure are exalted as enhancers of the growth capacity and evolution of the systems [33]-[37].

In this context, stigmergy begins to gain prominence. Described by Grassé [38] as a coordination mechanism used by insects - where an insect leaves traces in the environment that influence the later work of the same or others, without any form of planning, control or direct interaction between the agents [39]. Nowadays, we can see stigmergy in most of the complex systems that surround us [40]. Encompassing mechanisms of self-organization and learning, in addition to elements of cognition and cooperation, stigmergy provides to the systems the ability to adapt and evolve [41] [42].

In addition, it is important to note that every complex system consists of networks of interactions between its parts, and it is important to consider its modulation and technologies, as these aspects directly interfere in the capacity of resilience and system evolution [43].

Structured systems under dense networks - with high degree of interconnection - at the same can be very efficient - with large and rapid exchange of information [44] - or very problematic, since the high proliferation power of this type of structure can quickly lead the system to collapse [45]. On the other hand, systems based on more specialized networks, with low redundancy (number of agents performing the same function) - tend to be less resilient, suffering more with the removal or inactivity of one of its agents, especially if they are the most interconnected (hubs) [46][47].

In this context, ICT also gain prominence, since they allow systems and agents to interconnect in different ways, which stimulate the emergence of new contexts, paradigms and cultures [48]-[50].

Such as a complex adaptive system, ICT, when integrated into the routine of agents, become powerful mechanisms of relationship and of dissemination of knowledge. They aid agents and systems in their processes of innovation and learning [51], either through smoother routines or through routines that drive systems "on the edge of chaos" [52].

III. THE ANTIFRAGILITY AND THE EVOLUTION OF RESILIENCE

As an intrinsic property of complex systems, resilience makes the system able to assimilate and adapt to its surroundings, allowing it to evolve in the face of disorder rather than stagnate or succumb [53]-[56].

As Hayek's neoliberal discourse dictates, no agent should interfere with the natural trajectory of the system and/or prevent its mechanism of self-organization from acting, as this may weaken the system or even lead to its extinction [4]. In addition, we should not try to predict the future based on past data - because in the face of constant changes the future would appear unpredictable - but rather accept its uncertainty and constantly seek to improve our adaptability to cope well with what will come [57].

This results in a "General Resilience" that gives systems the ability to deal with uncertainties, changes and surprises through mechanisms of adaptation, learning and self-

organization, enabling systems to improve when faced with shocks and disturbances [58].

In consonance, we see the Adaptive Cycle of Resilience (ACoR), which emphasizes that every system, at some point, will go through ruptures because even in equilibrium it accumulates fragilities and vulnerabilities [52].

Therefore, it is essential that systems improve their resilience mechanisms, but not only that. The antifragility emerges here, since the systems should not only seek to resist, but rather seek to improve when exposed to volatility and disorder [4] [52].

As Dahlberg [3] does for resilience, Taleb [4] also portrays the malfunctions of intervention for antifragility, arguing that both the optimization and the specialization, from human intervention, make systems more vulnerable. In addition to that, antifragility also acts as a powerful mechanism of risk mitigation [59] when using creation processes and recombination of elements to face the unpredictable [60].

Aven [61] also highlights that, in practical terms, when explaining a situation, we can easily replace the concept of fragility with that of resilience – fragile is the one not being resilient - which again demonstrates the incoherence in the distinction between antifragility and resilience.

In the field of industry, De Florio [62] shows the antifragility as an advanced mechanism of resilience, which is distinguished by its elasticity and machine learning ability. An idea also defended by Hole [63], which explains fragility, robustness and antifragility as stages of a spectrum, in which antifragility figures as an advanced degree of resilience.

Finally, in Table I, we interconnect concepts and definitions of resilience, robustness and antifragility, in order to demonstrate their similarities and resemblances, proving that antifragility is a type of resilience, in the broadest and most advanced form, in a quantitative way.

TABLE I - COMPARING DEFINITIONS OF RESILIENCE, ROBUSTNESS AND ANTIFRAGILITY

Resilience	Robustness	Antifragility
Characterized by low vulnerability to perturbations. Is the "ability of these systems to absorb changes of state variables, driving variables, and parameters, and persist" [5]	Robustness is a property of simple or complicated system characterized by predictable behavior, enabling the system to bounce back to its normal state following a perturbation [3]	
Positive end of the distribution of developmental out comes among individuals at high risk [64]		It not only survive disturbance and disorder but actually develop under pressure [4]
Dynamic process encompassing positive adaptation within the context of significant adversity [65]		"gets better with every shock" [52]
An emergence property related to the self-organized behavior of SAC [30]		It not only resists the ravages of time but become ables to cope with an unpredictable future, through the creation and recombination of novel components [60]
"Resilience requires a constant sense of unease that prevents complacency." [53]		"The robust or resilient is neither harmed nor helped by volatility and disorder, while the antifragile benefits from them." [4]
It is the capacity to provide sufficient response to uncertainty together with a process of learning from doing and building a knowledge repository from tough experiences [66]		"systems able to learn while enacting elastic and resilient strategies" [62]
Resilience enables the system to cushion the effects of unforeseen disturbances by absorbing the shock and adapting to changing conditions forward to a more advanced level better suited for future hazards [56]		"being antifragile means being able to grow despite the crises that might arise" [52]

Mashup of adaptive and absorptive capacity, fostered by innovation and learning capabilities [31,30]		Stronger through learn fostered by resilient strategies [62]
"the joint ability of a system to resist (prevent and withstand) any possible hazards, absorb the initial damage, and recover to normal operation" [67]		"is a new way of thinking about mitigation risk" [59]
Capability of organizations related to ordinary adoptive practices that lead the system to higher levels of efficiency [68]		"is rewarded with good results and protected from adverse events" [61]

IV. CONCLUDING REMARKS

At the end of this study, it is shown the equivocation when dissociating resilience from antifragility. This is because, after exposing some of the current definitions of resilience and confronting with the definitions of antifragility, we can affirm that antifragility is synonymous of resilience in its most advanced form (*Resilience_{new}*), where systems, in addition to resisting stress and volatility, also grow with them, thanks to their adaptive capabilities.

As proof of this, we can return to the idea of De Florio [62] (1):

$$Antifragility = Elasticity + Resilience + Machine Learning \quad (1)$$

where elasticity is directly associated with the idea of adaptability and machine learning with the capacity for self-organization and learning of systems. The main elements of stigmery are as described in (2).

$$Stigmery = self-organization + learning + adaptability \quad (2)$$

Aligned with this idea, we also see the description of resilience given by Folke [24]: "is not only about being persistent or robust to disturbance. It is also about the opportunities that disturbance opens up in terms of recombination of evolved structures and processes, renewal of the system and emergence of new trajectories".

Thus, in front of the necessities, the resilience has been improving until the "new" resilience, resulting from the mix of stigmery and resilience (Figure 1) - in its simple form.

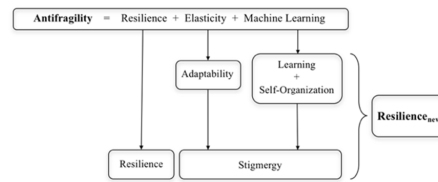


Figure 1. The Evolution of Resilience

From this, we can describe antifragility as (3):

$$Antifragility = Resilience_{new} \quad (3)$$

In addition, Taleb [4], in portraying resilience through the figure of Phœnix – bird, which never gets extinguished, always being reborn from the ashes after its death - demonstrates its most archaic definition, which is today the synonymous of robustness, in which there is only resistance to shock, without any improvement nor learning. With such a

description, the author is denying the evolution of resilience and refuting all its improvements, due to the increase in complexity and the widespread dissemination of ICT.

Thus, at the end of this work and after a vast review of the studies cited here, it is noticed that the increase in complexity and the introduction of ICT in our daily life triggered the process of evolution of resilience, which in its most advanced stage appears as antifragility.

REFERENCES

- [1] J. L. Casti, *X-Events: The Collapse of Everything*. New York: HarperCollins, 2012.
- [2] G. J. Lewis and N. Stewart, "The measurement of environmental performance: an application of Ashby's law," *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 20, pp. 31-52, 2003.
- [3] R. Dahlberg, "Resilience and Complexity: Conjoining the Discourses of Two Contested Concepts," *Culture Unbound*, vol. 7, pp. 541-557, 2015.
- [4] N. N. Taleb, *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House, 2012.
- [5] C. S. Holling, "Resilience and Stability of Ecological System," *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 4, pp. 1-23, 1973.
- [6] C. S. Holling, "Engineering resilience versus ecological resilience," *Engineering within ecological constraints*, vol. 31, 1996.
- [7] M. Panteli and P. Mancarella, "The grid: Stronger, bigger, smarter?: Presenting a conceptual framework of power system resilience," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 13, pp. 58-66, 2015.
- [8] E. E. Werner, J. M. Bierman, and F. E. French, *The children of Kauai: A longitudinal study from the prenatal period to age ten*. University of Hawaii Press, 1971.
- [9] A. S. Masten, and N. Garnezy, "Risk, vulnerability, and protective factors in developmental psychopathology," *Advances in clinical child psychology*, pp. 1-52, 1985.
- [10] E. E. Werner and R. S. Smith, *Overcoming the odds: High risk children from birth to adulthood*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1992.
- [11] D. Cicchetti and M. Lynch, "Toward an ecological/transactional model of community violence and child maltreatment: Consequences for children's development," *Psychiatry*, vol. 56, pp. 96-118, 1993.
- [12] D. M. Fergusson and M. T. Lynskey, "Adolescent resiliency to family adversity," *Journal of child psychology and psychiatry*, vol. 37, pp. 281-292, 1996.
- [13] E. L. Cowen, P. A. Wyman, W. C. Work, J. Y. Kim, D. B. Fagen, and K. B. Magnus, "Follow-up study of young stress-affected and stress-resilient urban children," *Development and Psychopathology*, vol. 9, pp. 565-577, 1997.
- [14] M. Rutter, "Resilience in the face of adversity. Protective factors and resistance to psychiatric disorder," *The British Journal of Psychiatry*, vol. 147, pp. 598-611, 1985.
- [15] R. P. Pesce, S. G. Assis, N. Santos, and R. D. Oliveira, "Risk and Protection: Looking for an Equilibrium That Provides Resilience," *Psicology: theory and research*, vol. 20, pp. 135-143, 2004.
- [16] J. D. Thompson, *Organizations in action: Social science bases of administrative theory*. Transaction Publishers, 1967.
- [17] N. Garnezy, "Children in poverty: Resilience despite risk," *Psychiatry*, vol. 56, pp. 127-136, 1993.
- [18] E. Morin, *Introduction to complex thought*. Porto Alegre: Sulina, 2006.
- [19] A. O. Sordi, G. G. Manfro, and S. Hauck, "The concept of resilience: different views," *Brazilian Journal of Psychotherapy*, vol. 2, pp. 115-132, 2011.
- [20] O. Noran, "Collaborative Disaster Management: An Interdisciplinary approach," *Journal of Computer in Industry*, vol. 65, pp. 1032-1040, 2014.
- [21] E. Jen, "Stable or robust? What's the difference?," *Complexity*, vol. 8, pp. 12-18, 2003.
- [22] V. De Florio, "On resilient behaviors in computational systems and environments," *Journal of Reliable Intelligent Environments*, vol. 1, pp. 33-46, 2015.
- [23] B. Walker, C. S. Holling, S. R. Carpenter, and A. Kinzig, "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems," *Ecology and society*, vol. 9, pp. 5, 2004.
- [24] C. Folke, "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses," *Global environmental change*, vol. 16, pp. 253-267, 2006.
- [25] E. Hollnagel, "Prologue: the scope of resilience engineering," *Resilience engineering in practice: A guidebook*, 2011.
- [26] D. J. Watts, *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. Norton, 2003.
- [27] E. Morin, and J. Le Moigne, *The Intelligence of Complexity*. 2000.
- [28] L. Von Bertalanffy, *General system theory*. 1968.
- [29] B. Zimmerman, "Complexity science: a route through hard times and uncertainty," *Health Forum Journal*, vol. 42, pp. 42-46, 1999.
- [30] L. H. Gunderson, *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island press, 2001.
- [31] G. S. Cumming *et al.*, "An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience," *Ecosystems*, vol. 8, pp. 975-987, 2005.
- [32] S. L. Cutter, *et al.*, "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters," *Global Environmental Change*, vol. 18, pp. 598-606, 2008.
- [33] I. Gleiser, *Chaos and Complexity: The Evolution of the Economic Thought*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1992.
- [34] I. Prigogine, and I. Stengers, *The end of certainty*. Simon and Schuster, 1997.
- [35] R. T. Pascale, "Surfing the edge of chaos," *MIT Sloan Management Review*, vol. 40, pp. 83, 1999.
- [36] M. Wheatley, *Leadership and the new science: discovering order in a chaotic world*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2011.
- [37] F. A. Hayek, *Law, legislation and liberty: a new statement of the liberal principles of justice and political economy*. Routledge, 2012.
- [38] P. P. Grassé, "La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. la théorie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs," *Insectes sociaux*, vol. 6, pp. 41-80, 1959.
- [39] H. V. D. Parunak, "A survey of environments and mechanisms for human-human stigmergy," *International workshop on environments for multi-agent system*, pp. 163-186, 2005.
- [40] F. Heylighen, "Stigmergy as a Universal Coordination Mechanism: components, varieties and applications," *Human Stigmergy: Theoretical Developments and New Applications*, 2015.
- [41] I. J. Aberkane, "From waste to kwaste: on the Blue Economy in terms of knowledge flow," *First Complex Systems Digital Campus World E-Conference 2015*, pp. 283-290, 2017.
- [42] T. G. Lewis and L. Marsh, 2016. *Human stigmergy: Theoretical developments and new applications*.

- [43] G. M. Souza and M. S. Buckridge, "Complex Systems: New ways of seeing the Botany," *Brazilian Journal of Botany*, vol. 27, pp. 407-419, 2004.
- [44] J. Fiksel, "Sustainability and resilience: toward a systems approach," *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, vol. 2, 2006.
- [45] P. Crucitti, V. Latora, and M. Marchiori, "Model for cascading failures in complex networks," *Physical Review E*, vol. 69, 2004.
- [46] M. E. Newman, "The structure and function of complex networks," *SIAM review*, vol. 45, pp. 167-256, 2003.
- [47] N. Leveson *et al.*, "Engineering resilience into safety-critical systems," *Resilience Engineering—Concepts and Precepts*, pp. 95-123, 2006.
- [48] R. V. Kozinets, "The field behind the screen: Using netnography for marketing research in online communities," *Journal of marketing research*, vol. 39, pp. 61-72, 2002.
- [49] M. Castells, *The Galaxy Internet: reflections on the Internet, business and society*. Zahar, 2003.
- [50] F. Heylighen, "13 Accelerating socio-technological evolution," *Globalization as evolutionary process: modeling global change*, pp. 284, 2007.
- [51] B. M. Leiner *et al.*, *A Brief History of the Internet*. <http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet>, 2017/02/03.
- [52] A. Karadimas, E. Hewig, S. Behera, and T. Kotisi, *A Case Study of Black Swans and Antifragility*. 2014.
- [53] E. Hollnagel, *Resilience: the challenge of the unstable*. 2006.
- [54] J. H. Holland, "Studying complex adaptive systems," *Journal of Systems Science and Complexity*, vol. 19, pp. 1-8, 2006.
- [55] D. D. Woods, "Essential characteristics of resilience," *Resilience engineering: Concepts and precepts*, pp. 21-34, 2006.
- [56] G. C. Gallopín, "Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity," *Global environmental change*, vol. 16, pp. 293-303, 2006.
- [57] B. Evans and J. Reid, *Resilient Life: The Art of Living Dangerously*. Cambridge: Polity Press, 2014.
- [58] S. Carpenter, B. Walker, J. Anderies, and N. Abel, "From metaphor to measurement: resilience of what to what?," *Ecosystems*, vol. 4, pp. 765-781, 2001.
- [59] T. Bendell, *Building Anti-fragile Organisations: Risk, Opportunity and Governance in a Turbulent World*. New York: Routledge, 2016.
- [60] A. Danchin, P. M. Binder, and S. Noria, "Antifragility and tinkering in biology (and in business) flexibility provides an efficient epigenetic way to manage risk," *Genes*, vol. 2, pp. 998-1016, 2011.
- [61] T. Aven, "The concept of antifragility and its implications for the practice of risk analysis," *Risk analysis*, vol. 35, pp. 476-483, 2015.
- [62] V. De Florio, "Antifragility= elasticity+ resilience+ machine learning models and algorithms for open system fidelity," *Procedia Computer Science*, vol. 32, pp. 834-841, 2014.
- [63] K. J. Hole, *Anti-fragile ICT Systems*. Springer-Verlag GmbH, 2016.
- [64] M. Rutter, "Psychosocial resilience and protective mechanisms," *American journal of orthopsychiatry*, vol. 57, pp. 316, 1987.
- [65] S.S. Luthar, D. Cicchetti, D., and B. Becker, "The construct of resilience: A critical evaluation and guidelines for future work," *Child development*, vol. 71, pp. 543-562, 2000.
- [66] C. A. Lengnick-Hall and T. E. Beck, "Adaptive fit versus robust transformation: How organizations respond to environmental change," *Journal of Management*, vol. 31, pp. 738-757, 2005.
- [67] M. Ouyang, "Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 121, pp. 43-60, 2014.
- [68] A. E. Akgün and H. Keskin, "Organisational resilience capacity and firm product innovativeness and performance," *International Journal of Production Research*, vol. 52, pp. 6918 - 6937, 2014.

3.1.1. Considerações sobre o Artigo 1

Em 2015, quando juntávamos material para a definição do tema da nossa tese, tivemos o nosso primeiro contacto com a Antifragilidade. Até então, nunca havíamos escutado o termo, e não tínhamos noção do seu significado. Foi nesse momento, com a leitura do livro de Nassim Taleb – “Antifrágil: Coisas que se beneficiam com o Caos” –, que fomos apresentados à Antifragilidade e que decidimos que esta seria o cerne do nosso trabalho.

Taleb (2012), ao definir a Antifragilidade como o “oposto ao frágil” ou o “não-frágil”, tornou o termo essencial, pois realmente faltava uma palavra de referência para este “estado”. Contudo, a dissociação efetuada pelo autor entre Antifragilidade e resiliência não parecia coerente. Assim como a associação da resiliência à robustez.

Após a análise de uma gama de estudos, foi possível perceber que não havia um consenso para as definições de resiliência e Antifragilidade. A existência de contrastes e divergências entre as diversas definições causava certa confusão, o que iria prejudicar o andamento do nosso trabalho.

Diante disso, o nosso primeiro passo foi estruturar uma conceptualização exata da Antifragilidade, através da qual pudéssemos comprovar que a Antifragilidade é a própria resiliência, na sua forma mais avançada.

Através da explanação da complexidade, procuramos destacar a sua visão holística e as características de um sistema complexo, a fim de salientarmos a constante interação e a mútua influência que há entre os agentes e o meio. Destas relações provém o dinamismo, a capacidade de adaptação e as características emergentes dos sistemas – mecanismos associados à sua resiliência, e indispensáveis para a sua evolução.

Tal como Grassé (1959) já ressaltava, a capacidade de auto-organização e de cooperação entre os agentes manifesta-se nos SAC. Num movimento *bottom-up*, sem qualquer planeamento, controlo ou interação direta entre os agentes, tais mecanismos possibilitam o desenvolvimento da capacidade de aprendizagem e da habilidade de adaptação dos sistemas.

A esse movimento sistémico, Parunak (2005) e Heylighen (2015) atribuem a denominação de Estigmergia. Para os autores, a crescente proliferação das TIC faz com que movimentos estigmérgicos alastrem. Através desse processo, verifica-se um aumento do fluxo de informação e da partilha de conhecimento entre os agentes, o que propicia aos sistemas o surgimento da sua resiliência.

Para o entendimento da resiliência, os trabalhos de Holling (1973, 1996) são cruciais. Na sua primeira definição, a resiliência é descrita como um processo estático, avesso a variações (Holling, 1973). Aqui, o equilíbrio constante é almejado e adquirido pelos

sistemas resilientes. Numa definição posterior, a resiliência assume uma forma mais dinâmica, onde o sistema varia de estado perante choques e *stress*, mas retornando, por fim, ao seu estado inicial (Holling, 1996).

Mesmo parecendo-nos incompleta, a definição de resiliência postulada por Holling (1996) assume-se como um marco, onde temos: 1) *pré-Holling*, onde a resiliência assume a forma da robustez, sendo um processo estático que evita choques e que preza pelo equilíbrio constante; 2) *pós-Holling*, onde a resiliência se torna um processo dinâmico e passa a aceitar choques e variações.

Estabelecido esse marco, destacámos alguns pontos consensuais sobre a resiliência, presentes em outros estudos:

- está intrínseca nos sistemas complexos (Holland, 2006; Woods, 2015);
- a sua emergência ocorre na presença de *stress* e desordem (Gallopín, 2006; Hollnagel, 2006);
- abrange mecanismos de adaptação e aprendizagem (Gunderson, 2001; Carpenter *et al.*, 2001);
- perante a imprevisibilidade, o melhor é aceitarmos a incerteza e aprimorarmos a nossa resiliência (Luthar *et al.*, 2000; Lengnick-Hall & Beck, 2005; Evans & Reid, 2014; Beck & Lengnick-Hall, 2016);
- diante da constante mudança, a resiliência aprimorou-se, permitindo aos sistemas não apenas resistirem à desordem, mas melhorarem quando expostos a ela (Rutter, 1985; Ouyang, 2014).

Perante tais pontos, a resiliência pode ser descrita como uma característica emergente dos sistemas. Atrelada à capacidade de adaptação e aprendizagem dos sistemas, a resiliência tende a aprimorar-se diante do aumento da complexidade e do desenvolvimento das TIC.

Quanto à Antifragilidade, pudemos destacar:

- os sistemas antifrágéis, quando sofrem perturbações, adaptam-se e recombina os seus elementos, o que lhes permite não apenas resistir, mas tornar-se melhores do que antes (Folke, 2006; Danchin *et al.*, 2011; Taleb, 2012; Karadimas *et al.*, 2014; Aven, 2015);
- a Antifragilidade está atrelada à capacidade de auto-organização, aprendizagem e adaptação dos sistemas (De Florio, 2014; Hole, 2016).

Perante o exposto, a Antifragilidade, tal como a resiliência, também pode ser descrita como sendo uma característica emergente dos sistemas complexos. Através de

capacidades como a auto-organização, a aprendizagem e a adaptação, os sistemas antifrágeis conseguem beneficiar da desordem.

Luthar *et al.* (2000), Gunderson (2001), Hollnagel (2006) e Akgün & Keskin (2014) ressaltam que essas mesmas capacidades são imprescindíveis para o surgimento da resiliência nos sistemas. Através dos seus trabalhos, sustentamos a afirmação de que a resiliência se encontra em constante evolução.

Além disso, é suportada a ideia de que a resistência atual (Resiliência_{nova}) está associada à Estigmergia. Nesta, os mecanismos (estigmérgicos) de auto-organização, aprendizagem e adaptabilidade possibilitam aos sistemas crescerem e aprimorarem-se perante o *stress*.

Sob este viés, ao analisarmos o trabalho de De Florio (2014), onde a Antifragilidade provém da soma da elasticidade com a resiliência e *machine learning*, vemos novamente fundamentada a nossa afirmação. Sendo a elasticidade similar à adaptabilidade e o *machine learning* similar à aprendizagem, a equação *Antifragilidade = Resiliência + Estigmergia* é verdadeira.

Em suma, o nosso objetivo foi atingido. Após confrontarmos e analisarmos diversos estudos associados à resiliência e à Antifragilidade, conseguimos demonstrar que a Antifragilidade equivale à resiliência na sua forma mais avançada.

3.2. Artigo 2

Conference Proceedings, Paris France May 17-18, 2018, 20 (5) Part XVII

Interbank Networks and the Benefits of Using Multilayer Structures

Danielle Sandler dos Passos, Helder Coelho, Flávia Mori Sarti

Abstract—Complexity Science seeks the understanding of systems adopting diverse theories from various areas. Network analysis has been gaining space and credibility, namely with the biological, social and economic systems. The majority of studies ignores the real level of interconnection between agents, portraying them through distorted monolayer representations that focuses on only one type of interaction and abstracts several other interactions between them, which usually results in erroneous and biased estimates. Therefore, this work aims to demonstrate the advantages of the use of multilayer networks for the representation and analysis of networks. For this, we analyzed an interbank network, composed of 42 banks, comparing the centrality measures of the agents (degree and PageRank) resulting from each method (monolayer \times multilayer). This proved to be the most reliable and efficient the multilayer analysis for the study of the current networks and highlighted JP Morgan and Deutsche Bank as the most important banks of the analyzed network.

Keywords—Complexity, Interbank Networks, Multilayer Networks, Network Analysis.

I. INTRODUCTION

Complexity is a relatively new approach, which seeks the understanding of systems and phenomena through the mixture of theories from areas. In recent years, the use of ideas related to complexity have proliferated among routines that seek to understand collective behaviours in systems that encompass different elements that interconnect in some way and provoke effects at different scales [1],[2].

Among these theories, the analysis of networks has been spreading through several areas due to the possibility of enabling a visual representation for comprehension of numerous complex systems, by capturing topological and structural characteristics of the interconnections between the agents [3].

A complex system is defined as a groups of agents that interact with each other and provide the system with the capacity for constant modification, learning, adaptation and evolution [4]. Moreover, such interactions promote the emergence certain features to the system, which are not present in its components individually [5].

The use of network theory, in various fields - biological, social, economic, etc. - allows the understanding of scenarios that were previously difficult, if not impossible, to represent [6]. In general, the networks are represented by graphs that assume the form

$$G = (V, E) \quad (1)$$

where G is the graph itself, V are the vertices (nodes) representing the agents and E are the edges that seek to delineate the interconnections between the nodes [7], being

$$E \subseteq V \times V \quad (2)$$

However, in spite of its contribution to quantitative analysis of agents within a complex system, the networks analysis may present failures in the aggregation of information of diverse layers of relationships using a single type of connection between the nodes [8],[9], which usually results in a dangerous oversimplification of the real world [10]. Considering that, the vast majority of systems are structured in multilayer relation, the summarizing into a single layer can lead to erroneous results and/or to inability to solve certain problems [11].

In order to avoid this situation, there're has been proposals to use complex systems analysis based on multilayer structures [11], represented by equation (3) and also known, among other terms, by multiplex network [12], multilevel [13] or multirelational [14]. In summary, this type of network is structured in several layers that represent different types of aspects or relations between the nodes simultaneously [15], so that each layer ends up resembling a monolayer network [11]. Generally, the nodes appear in the different layers and interconnect with each other through inter-layer edges, which have the function to interconnect the same node in diverse layers.

As a definition, we assume a multilayer network such that

$$G = (V, E_\alpha) : E_k \subseteq V \times V \forall k \in \{1, \dots, \alpha\} \quad (3)$$

where α corresponds to the number of layers the network has [16]. In addition, in multilayer, as well as in monolayers, one of the main mechanisms of analysis is the measurement of some centrality variables, considering that, as already highlighted [17], the centrality of the nodes shows those responsible for the rapid spread of information, failures and other stimuli and assets among agents. In recent, studies, measures of centrality have proliferated, ranging from the analysis of the best design to make a network more efficient to the identification of proteins that are essential for cell survival [18].

However, the results obtained in studies analyzing separately each layer of a multilayer network - as monolayer networks - or when aggregating the whole information on a single network are misleading, which highlights the urgency in adopting the multilayer representation [17].

It is important to point out that the financial networks focused in this study have complex structures and functions

Danielle Sandler dos Passos is with the University Institute of Lisbon & Faculty of Science of the University of Lisbon, The Robotics & Industrial Complex Systems and Banco do Brasil S.A, Lisbon, Portugal (e-mail: danielle.passos@uninova.pt)

Helder Coelho is with the Department of Informatics of the Faculty of Sciences of the University of Lisbon, Lisbon, Portugal (e-mail: hcoelho@di.fc.ul.pt).

Flávia Mori Sarti is with the School of Public Health of the University of São Paulo, São Paulo, Brazil (e-mail: flamori@usp.br).

[19]-[21] where banks and other economic agents interrelate simultaneously through various types of activities [22]. Thus, using a monoplex network for its representation may result in discarding several important information which may encompass data for a more coherent and comprehensive analysis of the markets [11]

In addition, in the multilayer analysis, the measures of centrality – such as degree, PageRank and others – are also used to analyse the relationships among agents in the network and its aggregated properties, similarly to the monolayer. However, confronting results obtained in the different analyses, we find discrepancies, which shows the urgency of adopting the multilayer representation when appropriate, due to comprehensiveness and completeness in representing complex networks for system analysis [9].

Thus, the objective of this work is to investigate the effectiveness of the use of multilayer structures in the analysis of the complex systems related to the network formed by 42 representative banks nowadays, comparing the results obtained in the aggregate (monolayer) and multilayer approaches.

The article is organized in 5 parts, this introduction being the first, encompassing a literature survey of the subject and objectives of the investigation. The following part is a more detailed discussion of the results and data used in the analysis, and the third section includes the discussion of the findings in comparison to the scope of the topic. Next, we present the methodology used and lastly, the bibliographic references are highlighted.

Finally, considering the evidences in the literature and analyzing the networks built in the study, it is possible to conclude that the use of multilayer networks provides better explanations regarding the mechanisms of financial complex systems, since they encompass more information about agents and its links, making it possible to obtain more realistic and less skewed analysis.

II. RESULTS

Observing the network composed of the 42 selected banks and comparing the outputs from the single monolayer network to the multilayer network, it is possible to observe discrepancies between the centrality (degree and PageRank) for each bank. The values found in the multilayer network analysis more consistent with the real scenario in the financial sector, since the mapping of Shareholder Banks shows that the fact that the position as shareholders influences the measures of its importance in the network.

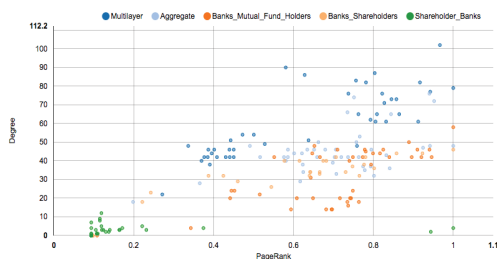


Fig. 1 – Degree and Page Rank of multilayer and aggregate networks

Moreover, since we focus not only on the quantitative measures of relations, but also on the qualitative part of the

agents' characteristics ('banks only', 'shareholder banks' or both), we obtained a reliable measurement of the importance of each agent in the network by adding more information on the role of each bank in the network. This allows a more solid and less biased analysis of the financial market and the role of agents, based on the discrepancies found in degree and PageRank values identified in different approaches.

Finally, after analyzing the network, it is possible to observe that JP Morgan is the most important bank in the network, followed by Deutsche Bank, Wells Fargo and Bank of America, since these banks have shareholding position in other banks or have shareholder banks. This characteristics allow them to have the highest PageRank of the network.

III. DISCOURSE

Network theory is increasingly gaining importance in studies of diverse scientific fields, allowing analytical progresses that were previously impossible. The first graph appeared almost three centuries ago, as proposal to solve the problem of Königsberg [23], and the use of graphs and the theory of networks have spread along time, driven by the emergence of various softwares aimed at analyzing complex systems and the popularization of social networks.

However, the network theory encompasses several mechanisms and concepts which allow a robust introductory analysis of the complex systems. There is still progressing to be made in its representations to increase reliability of the network analysis, especially considering that recent studies on complex systems bring new techniques, premises and information. In this context, the emergence of mechanisms and concepts linked to multilayer networks has been shown to incorporate tools for the investigation of a wider and more diverse range of system and its agents.

Regarding studies and analyses of the financial system, it is possible to observe several advances related to the understanding of the market, considering diverse scenarios for assessment of the economic networks and its agents. However, it is important to point out that many studies still adopt unidimensional analyses that ignore the complexity, resulting in inadequate conclusions of the current situation. Additionally, there are parameters that are still unexplored regarding the relationship between economic agents and their multiple roles in the market.

Consequently, the adoption of agents' characteristics (institutional shareholders) as parameter of relationship among financial institutions to allow multilayer network analysis, this work seeks to bring new information to financial markets analysis to try reducing the gap in this field of study.

IV. METODOLOGY

Firstly, it should be pointed out that the selection of banks was based on their prominence on news published in newspapers and magazines during the period nearby the financial crisis of 2008, combined with information on their importance at that time and today, both in global banking market and in local economies of their countries of origin.

In order to structure the network, we chose to use the main shareholders institutions in each bank, in order to

define the interactions among institutions, due to the role of this variable in influencing financial markets' agents. In addition, we wanted to avoid the usual approach in which the edges of the network are based on interbank loans [24]-[29].

Although, the initial idea was to collect data in the period nearby the financial crisis from 2007 to 2009 most banks do not provide the information on their main institutional shareholders in the period select. Therefore, it was decided to use data referring to June 2017.

After data collection, banks and shareholders were listed to check the commonalities of shareholders among them, adopting weight 1 for each. However, what we imagined it would initially result in a simple network (with nodes representing the banks and amount of common shareholders representing the edges), turned out to be a more complex network, with certain banks listed also as shareholders (Table 1).

Therefore, we built initially a network without the 'shareholder banks' feature where banks assumed only the position of banks and the connections were indirect and had the weight according to the amount of mutual funds holder (Fig. 2) and shareholders (Fig. 3) between the banks. Gephi version 0.9.2 was the software used to create the networks in figures 2 to 4.



Fig. 2 – Banks Network (edges are mutual funds holder in common)

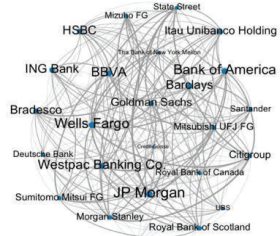


Fig. 3 – Banks Network (edges are shareholder in common)

A second network was elaborated to include the 'shareholder banks' and the banks in which they held shares, including directed connections with weight 1.

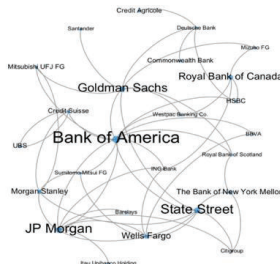


Fig. 3 – Shareholder Banks Network

However, the analysis of separate networks seemed inconsistent, due to the disconnection between both situations neglecting the fact that these occur simultaneously in aggregate form. Therefore, we chose to adopt a multilayer network to avoid the discarding relationships and characteristics of agents in the network that would provide important information in the analysis of the financial network, depicting in each layer a type of relation and interconnecting them through the nodes present in both. The software chosen at this stage was MuxViz (version 2.0).

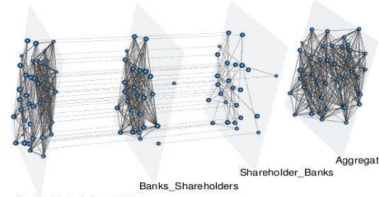


Fig. 4 – Multilayer Network

In addition, we analyzed the importance of the agents in the network by measuring the degree (number of connections between a node and others), considering that the most important node of the network is the one with the highest degree [30] – and the PageRank – search algorithm adopted by Google. This does not consider for all nodes in the same way, taking into account the quality (importance) of the nodes, the more important the node the largest number of "better" nodes it is connected [31]. However, considering works like that of [32], which shows that the Multiplex PageRank reflects the influence of the node importance in one layer affecting its importance in another layer, we decided to use only PageRank for measurement of the importance of nodes in the network, because it is a recursive measure where the measure of one node will depend on the measures of nodes connected to it, unlike the degree [33].

The results obtained in both approaches were compared in order to demonstrate differences between networks properties and characteristics, enabling to conclude that the multilayer approach presented more robust results in depicting the network, its agents relationships and the roles in the financial market.

The multilayer network shows particularly the positive influence of institutional shareholder position in allowing improved intermediation capacity, with JP Morgan and Deutsche Bank being the most important banks in the network, not just because they are amongst the most interconnected nodes and have shareholding position in several other banks – higher degree – but mainly because they have relationships with other major banks – higher PageRank.

TABLE I
MEASURES OF CENTRALITY OF BANKS

Node	Label	Degree	DegreeOut	PageRank
7	JP Morgan	79	42	1.0
13	Deutsche Bank	102	49	0.9665
11	Wells Fargo	77	39	0.9423
4	Bank_of_America	82	45	0.9165
5	Citigroup	61	29	0.9122
9	The_Royal_Bank_of_Scotland	65	31	0.8646
42	Westpac_Banking_Corporation	73	35	0.8576
10	Barclays	73	36	0.8451
8	Morgan_Stanley	61	30	0.8317
3	Goldman_Sachs	71	38	0.8273
24	BBVA	76	37	0.8220
16	Mitsubishi_UFJ_FG	65	32	0.8089
27	State_Street	61	34	0.8053
34	Itau_Unibanco	87	43	0.8033
18	Mizuho_FG	62	30	0.7927
1	HSBC	82	40	0.7814
12	Santander	65	32	0.7625
21	Sumitomo_Mitsui_FG	48	22	0.7589
2	UBS	83	42	0.7564
20	ING_Bank	76	36	0.7373
26	The_Bank_of_New_York_Mellon_Co	51	26	0.6376
40	Bradesco_SA	86	43	0.6279
32	Royal_Bank_of_Canada	90	47	0.5805
14	Credit_Agricole_SA	49	25	0.5280
6	Credit_Suisse	54	26	0.5006
15	BNP_Paribas_SA	54	27	0.4723
39	Intesa_Sanpaolo	46	23	0.4504
35	Industrial_and_Commercial_Bank_of_China	42	21	0.4503
33	Commonwealth_Bank	51	26	0.4426
17	Bank_of_China	42	21	0.4403
36	Lloyds_Banking_Group	46	23	0.4394
30	Bank_of_Communications_Co	42	21	0.4302
31	China_Merchants_Bank	42	21	0.4084
29	Agricultural_Bank_of_China	46	23	0.4015
19	Societe_Generale	44	22	0.3952
28	China_Constructions_Bank	38	19	0.3904
25	Standard_Chartered	46	23	0.3867
38	Commerzbank_AG	42	21	0.3852
22	Unicredit_Group	42	21	0.3764
37	Citic_Limited	40	20	0.3697
23	Nordea_Bank	48	24	0.3364
41	Banco do Brasil SA	22	11	0.2715

REFERENCES

[1] R.L. Flood, E. R. Carson, *Dealing with complexity: an introduction to the theory and application of systems science*, Springer Science & Business Media, 2013.

[2] D. Larsen-Freeman, "The emergence of complexity, fluency, and accuracy in the oral and written production of five Chinese learners of English," *Applied linguistics*, vol. 27, 2006, pp. 590-619.

[3] M. Newman, *Networks: an introduction*, Oxford university press, 2010.

[4] E. Morin, *La via para el futuro de la humanidad*, 2011.

[5] D. Braha, *Unifying themes in complex systems*. Y. Bar-Yam, A. Minai (Eds.), Westview Press, 2000.

[6] A. Ajzenal, *Complexidade aplicada à economia*, Rio de Janeiro, RJ: Editora FGV, 2015.

[7] S. Bornholdt, H. G. Schuster (Eds.), *Handbook of graphs and networks: from the genome to the internet*, John Wiley & Sons, 2006.

[8] E. Cozzo, M. Kivelä, M. De Domenico, A. Solé-Ribalta, A. Arenas, S. Gómez, Y. Moreno, Structure of triadic relations in multiplex networks, in *New Journal of Physics*, vol. 17-ED 7, 2015, 073029.

[9] M. De Domenico, M. A. Porter, A. Arenas, MuxViz: a tool for multilayer analysis and visualization of networks, in *Journal of Complex Networks*, vol. 3-ED 2, 2015, pp. 159-176.

[10] M. De Domenico, A. Solé-Ribalta, E. Cozzo, M. Kivelä, Y. Moreno, M. Porter, S. Gómez, & A. Arenas, "Mathematical formulation of multilayer networks," in *Physical Review X*, vol. 3-ED 4, 2013, 041022.

[11] M. Kivelä, A. Arenas, M. Barthelemy, J. P. Gleeson, Y. Moreno, M. A. Porter, "Multilayer networks," in *Journal of complex networks*, vol. 2-ED 3, pp. 203-271, 2014.

[12] L. M. Verbrugge, "Multiplexity in adult friendships," in *Social Forces*, vol. 57-ED 4, 1979, pp. 1286-1309.

[13] E. Lazega, M. T. Jourda, L. Mounier, R. Stofer, "Catching up with big fish in the big pond? Multi-level network analysis through linked design," *Social Networks*, vol. 30, no. 2, pp. 159-176, 2008.

[14] D. Cai, Z. Shao, X. He, X. Yan, J. Han, (2005, October). "Community mining from multi-relational networks," in *European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, Berlin, 2005, pp. 445-452.

[15] S. Boccaletti, G. Bianconi, R. Criado, C. I. Del Genio, J. Gómez-Gardenes, M. Romance, M. Zanin, "The structure and dynamics of multilayer networks," *Physics Reports*, vol. 544, pp. 1-122, 2014.

[16] I. Falih, & R. Kanawati, "MUMA: A multiplex network analysis library," in *Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2015 IEEE/ACM International Conference on*, pp. 757-760, Aug. 2015.

[17] M. De Domenico, C. Granell, M.A. Porter, A. Arenas, "The physics of spreading processes in multilayer networks," *Nature Physics*, vol. 12-ED 10, pp. 901-906, 2016.

[18] H. Jeong, S. P. Mason, A.L. Barabási, Z. N. Oltvai, "Lethality and centrality in protein networks," *Nature*, vol. 411, pp. 41-42, 2001.

[19] M. Boss, H. Elsinger, M. Summer, S. Thurner, "Network topology of the interbank market," *Quantitative Finance*, vol. 4-ED 6, pp.677-684, 2004.

[20] H. Inaoka, H. Takayasu, T. Shimizu, T. Ninomiya, K. Taniguchi, "Self-similarity of banking network," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 339-ED 3, pp. 621-634, 2004.

[21] K. Soramäki, M. L. Bech, J. Arnold, R. J. Glass, W. E. Beyeler, "The topology of interbank payment flows," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 379, pp. 317-333, 2007.

[22] M. Montagna, C. Kok, "Multi-layered interbank model for assessing systemic risk," unpublished.

[23] L. Euler, "Solutio problematis ad geometriam situs pertinentes," *Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae*, vol. 8, pp. 128-140, 1741.

[24] E. Nier, J. Yang, T. Yorulmazer, A. Alentorn, "Network models and financial stability," *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 31-ED 6, pp. 2033-2060, 2007.

[25] C. Upper, "Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets," *Journal of Financial Stability*, vol. 7-ED 3, pp. 111-125, 2011.

[26] S. Battiston, D. D. Gatti, M. Gallegati, B. Greenwald, J. E. Stiglitz, "Liaisons dangereuses: Increasing connectivity, risk sharing, and systemic risk," *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 36-ED 8, pp. 1121-1141, 2012.

[27] B. M. Tabak, M. Takami, J. M. Rocha, D. O. Cajueiro, S. R. Souza, "Directed clustering coefficient as a measure of systemic risk in complex banking networks," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 394, pp. 211-216, 2014.

[28] S. Poledna, J. L. Molina-Borboa, S. Martínez-Jaramillo, M. Van Der Leij, S. Thurner, "The multi-layer network nature of systemic risk and its implications for the costs of financial crises," *Journal of Financial Stability*, vol. 20, pp. 70-81, 2015.

[29] M. Bardoscia, S. Battiston, F. Caccioli, G. Caldarelli, "Pathways towards instability in financial networks," *Nature Communications*, vol. 8, pp. 14416, 2017.

[30] J. Nieminen, "On the centrality in a graph," *Scandinavian journal of psychology*, vol. 15-ED 1, pp. 332-336, 1974.

[31] S. Brin, L. Page, "Reprint of: The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine," *Computer networks*, vol. 56-ED 18, pp. 3825-3833, 2012.

[32] A. Halu, R. J. Mondragón, P. Panzarasa, G. Bianconi, "Multiplex pagerank," *PLoS one*, vol. 8-ED 10, e78293, 2013.

[33] V. Grolmusz, "A note on the pagerank of undirected graphs," *arXiv preprint arXiv*, pp. 1205.1960, 2012.

3.2.1. Considerações sobre o Artigo 2

Tal como no primeiro artigo, a presença crescente da complexidade no nosso quotidiano é destacada. É importante salientar que estamos rodeados de sistemas complexos. O sistema financeiro é um deles e, por isso, da interação dos seus agentes emergem novos elementos, o que propicia a sua adaptação, aprendizagem e evolução.

Ao destacar-se a importância e a influência das relações entre os agentes para a evolução dos sistemas, atentamos à essencialidade da sua análise para a obtenção de uma correta compreensão dos sistemas e dos seus agentes.

Nesse sentido, destacamos o crescente uso da Teoria das Redes. O seu grande aspeto diferenciador é a representação de cenários através de grafos – compostos por nodos (agentes) e ligações –, o que permite uma análise mais prática e visual do sistema.

Adicionalmente, através da Teoria das Redes é possível incluir as características topológicas e estruturais dos agentes no processo de análise dos sistemas. Tal inclusão, como vários estudos – entre eles Boss *et al.* (2004), Soramäki *et al.*, 2007, Upper, 2011, Battiston *et al.*, 2012, *etc.* – já demonstraram, é um fator essencial para a obtenção de uma análise bem-sucedida e coerente com o cenário real.

Nesse âmbito, ao revisitarmos os estudos que utilizaram a Teoria das Redes para analisar o mercado financeiro, observamos que todos optaram por utilizar linhas e/ou instrumentos de crédito como elemento de ligação entre as instituições. Notamos, então, a existência de um grande *gap*.

Diante disso, optámos por utilizar, como elemento de conexão, os acionistas em comum entre as instituições financeiras. A ideia inicial era recolher do site *Yahoo Finance* e da plataforma da *Thomson Reuters* os 10 principais acionistas institucionais de cada organização, cruzando-se de seguida os dados, para se elencar quantos acionistas em comum cada instituição possuía com as restantes. Uma vez escolhido o critério de ligação, passámos para a escolha das instituições. Entre as organizações que mais ganharam destaque durante a Crise de 2008, escolhemos 13, e utilizámos o grau como a sua medida de importância.

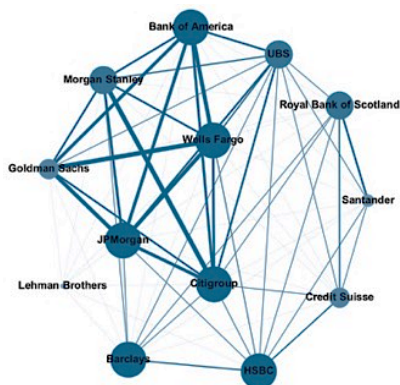


Figura 12 – A nossa primeira rede (Fonte: Própria)

Todavia, algum tempo depois, ao revisitamos a nossa rede, observámos que esta estava muito aquém do atual mercado financeiro global. Os seus nodos concentravam-se em bancos norte-americanos e em um número reduzido de bancos europeus, deixando de lado diversas outras instituições importantes do cenário mundial atual.

Assim, optámos por modificar o período analisado – passámos de 2008 para 2017 – e ampliámos a nossa base de análise para 42 organizações, em que englobamos, para além de organizações norte-americanas e europeias, instituições asiáticas, canadianas, australianas e sul-americanas.

Estipulados os agentes e os critério de ligação, partimos para a recolha de dados. Durante tal etapa, dois pontos ditaram a mudança de rumo do nosso trabalho: o primeiro aponta para o facto de nem todas as instituições possuírem acionistas institucionais, mas sim fundos mútuos; o segundo é que algumas instituições são acionistas de outras, acumulando assim duas funções (características) em simultâneo.

Perante isto, num primeiro momento, optámos por estruturar 3 redes em separado:

- 1) Rede indireta, em que todos os agentes são instituições cujas ligações são os acionistas (entre os Top 10) institucionais em comum;
- 2) Rede indireta, em que todos os agentes são instituições cujas ligações são os fundos (entre os Top 10) mútuos;
- 3) Rede direcionada, onde há ‘bancos-acionistas’ e bancos cujas ações são detidas pelos primeiros.

A nossa intenção era analisar separadamente cada rede, através de medidas de centralidade, e depois juntar os resultados. Contudo, ao fazermos isso, percebemos que estaríamos a descartar algumas informações sobre os agentes e as suas relações, o que tenderia a enviesar a nossa análise e a prejudicar os nossos resultados.

Na busca pela melhor opção para estruturar e analisar a nossa rede, deparámo-nos com as redes *multilayers*. Trabalhos como o de De Domenico *et al.* (2013, 2015) e Kivelä *et*

al. (2014) salientam os benefícios de se utilizarem diversas camadas para a análise de redes com características semelhantes às nossas.

Assim, estabelecemos como principal objetivo do nosso segundo artigo comprovar os benefícios do uso de redes *multilayers* (ao invés de redes *monolayers*) para a representação e análise de redes. Para tal, agregamos as nossas 3 redes (simples) numa só rede, com 3 camadas.

Por acreditarmos que um agente ligado a um nodo importante se torna mais importante do que se tivesse ligado a um nodo sem importância, o grau, por ser uma medida não recursiva, deixou de ser a nossa escolha para a medida de importância das instituições.

Para o efeito, entre as medidas de centralidade existentes, optámos por utilizar o *PageRank*, pois esta é uma medida recursiva que se enquadra perfeitamente na nossa procura.

Estabelecidas a estrutura e a medida de centralidade, o passo seguinte foi montar a rede *multilayer* e medir o *PageRank* de cada agente (Tabela 4). Em posse disso, passámos à comparação das medidas encontradas, com os valores identificados nas redes *monolayers* (Tabela 5, 6 e 7).

Agente	PageRank
JP Morgan	1.0
Deutsche Bank	0.9665
Wells Fargo	0.9423
Bank of America	0.9165
Citigroup	0.9122
The Royal Bank of Scotland	0.8646
Westpac Banking Corporation	0.8576
Barclays	0.8451
Morgan Stanley	0.8317
Goldman Sachs	0.8273
BBVA	0.8220
Mitsubishi UFJ FG	0.8089
State Street	0.8053
Itau Unibanco	0.8033
Mizuho FG	0.7927
HSBC	0.7814
Santander	0.7625
Sumitomo Mitsui FG	0.7589
UBS	0.7564
ING Bank	0.7373
The Bank of New York Mellon Co	0.6376
Bradesco SA	0.6279
Royal Bank of Canada	0.5805
Credit Agricole SA	0.5280
Credit Suisse	0.5006
BNP Paribas SA	0.4723
Intesa Sanpaolo	0.4504
Industrial and Commercial Bank of China	0.4503
Commonwealth Bank	0.4426
Bank of China	0.4403
Lloyds Banking Group	0.4394
Bank of Communications Co	0.4302
China Merchants Bank	0.4084
Agricultural Bank of China	0.4015
Societe Generale	0.3952
China Constructions Bank	0.3904
Standard Chartered	0.3867
Commerzbank AG	0.3852
Unicredit Group	0.3764
Citic Limited	0.3697
Nordea Bank	0.3364
Banco do Brasil SA	0.2715

Tabela 4 – *PageRank* de rede *multilayer* (agregada)

Agente	PageRank
Deutsche Bank	0,0392
BNP Paribas	0,0345
Nordea Bank	0,0315
Royal Bank of Canada	0,0306
Lloyds Banking Group	0,0297
Intesa Sanpaolo	0,0296
UBS	0,0296
Standard Chartered	0,0296
Agricultural Bank of China	0,0296
Itau Unibanco Holding	0,0286
Credit Agricole	0,0283
Commerzbank	0,0272
Societe Generale	0,0271
Unicredit Group	0,0268
Bank of Communication	0,0268
China Merchants Bank	0,0268
Commonwealth Bank	0,0268
Bradesco	0,0268
Industrial and Commercial Bank of China	0,0268
Bank of China	0,0257
HSBC	0,0257
Citic Limited	0,0257
China Construction Bank	0,0246
Wells Fargo	0,0218
Barclays	0,0212
ING Bank	0,0212
Goldman Sachs	0,0207
Bank of America	0,0207
Westpac Banking	0,0206
BBVA	0,0205
Mizuho FG	0,0203
Santander	0,0200
JP Morgan	0,0194
Credit Suisse	0,0189
Royal Bank of Scotland	0,0189
Mitsubishi UFJ	0,0189
Citigroup	0,0181
Morgan Stanley	0,0181
The Bank of NY Mellon	0,0181
State Street	0,0181
Sumitomo Mitsui FG	0,0071

Tabela 5 – PageRank em rede *monolayer* com fundos mútuos

Agente	PageRank
Credit Suisse	0,192
UBS	0,181
Deutsche Bank	0,072
BBVA	0,047
Sumitomo Mitsui FG	0,045
Morgan Stanley	0,043
ING Bank	0,033
Royal Bank of Scotland	0,032
Citigroup	0,032
Westpac Banking Co	0,027
Mizuho FG	0,025
HSBC	0,024
Mitsubishi UFJ FG	0,023
Bank of America	0,023
Wells Fargo	0,023
Goldman Sachs	0,022
JP Morgan	0,022
Santander	0,021
Barclays	0,021
Itau Unibanco Holding	0,021
The Bank of NY Mellon	0,020
Credit Agricole	0,018
State Street	0,018
Royal Bank of Canada	0,018
Commonwealth Bank	0,018

Tabela 6 – PageRank em rede *monolayer* com acionistas em comum

Agente	PageRank
JP Morgan	0,050
Bank of America	0,048
Wells Fargo	0,048
BBVA	0,047
Westpac Banking Co	0,047
Barclays	0,045
ING Bank	0,045
HSBC	0,044
Bradesco	0,044
Goldman Sachs	0,043
Itau Unibanco Holding	0,043
Citigroup	0,041
Royal Bank of Scotland	0,039
Mitsubishi UFJ FG	0,039
Sumitomo Mitsui FG	0,039
Morgan Stanley	0,039
Mizuho FG	0,037
Deutsche Bank	0,037
Royal Bank of Canada	0,037
Santander	0,037
State Street	0,037
UBS	0,033
The Bank of NY Mellon	0,031
Credit Suisse	0,029
Banco do Brasil	0,021

Tabela 7 – PageRank rede *monolayer* ‘bancos-acionistas’

Após as comparações, observamos que os valores de *PageRank* apresentados pela rede *multilayer* eram mais condizentes com a rede interbancária real. Entre os seus valores, os maiores *PageRank* pertenciam às instituições que detinham posição acionária noutros agentes, bem como aos que estavam interligados a instituições também importantes.

Com a estruturação da nossa rede num único grafo, e com o comparativo das medidas do *PageRank* encontradas na *multilayer* e nas *monolayers*, conseguimos reafirmar os benefícios de se utilizarem as redes *multilayers* para a análise do mercado financeiro.

Por fim, para além do facto de incluirmos na nossa rede interbancária instituições de diversos continentes, destaca-se também, no nosso trabalho, o uso inédito de acionistas institucionais e fundos mútuos para se traçar as relações entre os agentes.

3.3. Artigo 3

Conference Proceedings, Istanbul Turkey Jul 23-24, 2018, 20 (7) Part XI

Measuring Banks' Antifragility via Fuzzy Logic

Danielle Sandler dos Passos, Helder Coelho, Flávia Mori Sarti

Danielle Passos is with the University Institute of Lisbon, Portugal (e-mail: danielle.passos@uninova.pt).

Abstract – Analysing the world banking sector, we realize that traditional risk measurement methodologies no longer reflect the actual scenario with uncertainty and leave out events that can change the dynamics of markets. Considering this, regulators and financial institutions began to search more realistic models. The aim is to include external influences and interdependencies between agents, to describe and measure the operationalization of these complex systems and their risks in a more coherent and credible way. Within this context, X-Events are more frequent than assumed and, with uncertainties and constant changes, the concept of antifragility starts to gain great prominence in comparison to others methodologies of risk management. It is very useful to analyse whether a system succumbs (fragile), resists (robust) or gets benefits (antifragile) from disorder and stress. Thus, this work proposes the creation of the Banking Antifragility Index (BAI), which is based on the calculation of a triangular fuzzy number – to "quantify" qualitative criteria linked to antifragility.

Keywords – Complex Adaptive Systems, X-Events, Risk Management, Antifragility, Banking Antifragility Index (BAI), Triangular Fuzzy Number.

I. INTRODUCTION

Today, faced with the emergence of complexity that permeates the uncertainties scenarios linked to markets, the traditional method of risk management and its risk matrix are no longer satisfactory for the efficient management of organizations.

The organizations have several variables and agents linked to their development and, such as an Complex Adaptive System, are influenced and influence the external environment and the other agents, which result in unforeseen and often unprecedented scenarios.

In this context, X-Events begin to occur with considerable frequency and it is no longer cautious to exclude them from the roll of risks that make up the business management plan. However, since the prediction of their incidence tends to be impossible, companies should seek skills (learning, self-organization, flexibility, ...) that will allow them to survive and benefit from any event of disorder and chaos, developing and stimulating the emergence of its antifragility – ability of gaining from disorder [1].

Thus, in this work, focused on the financial sector, we seek to provide information that enables companies in this sector to improve the development of their antifragility. Through the creation of what are known as the Bank Antifragility Index (BAI), we aim to demonstrate the main variables linked to the development of the antifragility of financial institutions.

In our analysis, we tried to cover the most diverse fields linked to the development of organizations, using a more

holistic view of these, in line with the complexity that permeates them.

For BAI measurement, we chose 18 variables that we linked to each one of the 6 criteria of antifragility analysis (redundancy, emergence, requisite variety, stress starvation, non-monotonicity and absorption). Through the Triangular Fuzzy Number method, we manipulate and standardize the values of each of these variables, reaching a final value that corresponds to the BAI of each institution.

Our sample is made up of 42 financial institutions, of the world's most diverse regions, of which JP Morgan is the one with the highest BAI, 0.68, and Banco do Brasil S.A. that presents the lowest BAI, 0.46.

The article is divided in 5 sessions. In addition to this Introduction, in session II we have the bibliographic review of the subjects that make up this work. In session III, we present the methodology. Then in Session IV we present the results. And finally, in section V we have the present of our concluding remarks.

II. STATE OF ART

A. Complex Adaptive System and How They Behave

Nowadays, it is already a consensus that we can describe a complex system as a collection of interconnected parts (agents) whose relationships result in new properties [2]. For the most part, such systems are adaptive, being able to learning, interacting, collecting information and feedback that allow them to make internal adjustments in response to or anticipating changes [3]–[6].

Among its most important characteristics, Chiva *et al.* [7] the ability to learn through the operationalization and constant interaction between its agents is highlighted, which allows him to glimpse and analyse various scenarios, always seeking for the best way to adapt to them [8]–[10].

Parker & Stacey [11], still point out that we are surrounded by Complex Adaptive Systems (CAS) with markets, institutions and other agents being some of their examples [12].

Hole [6] also corroborates the idea that the world is full of CAS, with ICT (Information and Communication Technology) and the economic system being examples of so many others. In Fig. 1 we have the present of how the interaction between agents and the environment occurs. Cognitive processes and tools enable a continuous process of practice and learning that composes the database for decision-making against the action of stressors [1].

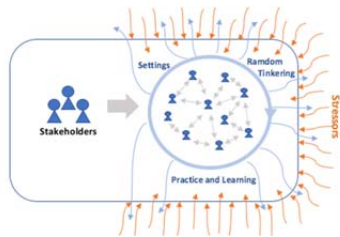


Fig. 1 – The interaction between the agents leads to the formation of a complex adaptive system that interacts with the environment, in a continuous feedback process that allows its adaptation to the stimuli

Danchin *et al.* [13], when studying living systems, emphasize that small doses of stress are healthy for the evolution of these, since they stimulate the emergence of unexpected properties, among them antifragility, that allows the CAS to find solutions to the adversities, through the management of information and other internal mechanisms.

However, not every system (re)acts in the same way, being its possible behaviours, against disorder and stress, modelled through a continuous random variable with a distribution that follows the probability density function [6]. In Fig. 2, we have the representation of this distribution, where in the middle are the most routine events and in the tails the extreme events – on the left side those of negative effect and on the right side the positive ones – named by Casti [14] of X-Events.

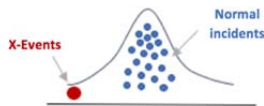


Fig. 2 – Probability density function of possible events, where in the middle are the routine events and in the left tail occur the events of extremely harmful effects

Also called Black Swans [15], X-Events tend to be rather scarce, making it impossible to predict its incidence with any accuracy, with only a retrospective prediction possible after the event has already occurred [2]. In addition, in the short term they tend to be extremely negative, but in the long run they can aid in the evolution of systems, propelling progress by decimating fragile structures and enhancing resistant and antifragile [14].

Antifragile systems are more than robust – for they are not only tolerant of stress like these, as they improve in front of it – and the opposite of the fragile ones – that 'break' in the face of disorder [1].

According to Hole [6], we can glimpse the fragility, robustness and antifragility through a spectrum (Fig. 3), each stage being an improvement of the previous one.



Fig. 3 – Spectrum from fragile to antifragile

In addition, it is possible to observe that antifragile systems have a 'positive' convexity against increasing volatility, while fragile systems have a 'negative' concavity and the robust ones are indifferent [1].

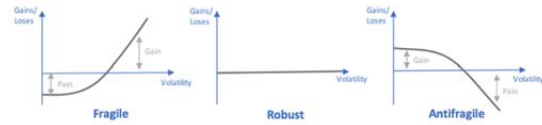


Fig. 4 – Behavior of systems when volatility increase

However, the positive impact of stress is not continuous, there is a moment (tipping point) where the disorder becomes harmful to the system and puts it in a fragile condition against the threat [2], [16], [17].

Thus, realizing the sensitivity of a system to X-Events becomes more useful for managing organizations than trying to predict risks [18]. Because, in the current context, full of uncertainties, volatility and large changes, measuring and managing risks (stressors) is almost impossible since most of the methods used discard events and ignore the interaction between agents, systems and environment, providing unconditional results with reality [17], [19].

B. Risk Management

Based on mathematical theories of Bachelier, Fama, Markowitz among others, traditional risk management is shown to be massively structured in stochastic models that result in an underestimation of the risks associated with the economic scenarios analysed [6], [19], [20].

Traditionally estimated according to triplet (e_i, p_i, c_i), where e_i is the i^{th} event, p_i is the probability of occurrence of this event and c_i is its consequence (with $i = 1, 2 \dots n$), the risks of low probability, and mild consequences are eventually discarded from the roll of risks to be managed, as they can be seen in the risk matrix (Fig. 5), they do not appear as high risk or extreme risk.

		Consequence				
		Negligible	Minor	Moderate	Significant	Severe
Probability	Almost Certain	Low Risk	Moderate Risk	High Risk	Extreme Risk	Extreme Risk
	Likely	Minimum Risk	Low Risk	Moderate Risk	High Risk	Extreme Risk
	Moderate	Minimum Risk	Low Risk	Moderate Risk	High Risk	High Risk
	Unlikely	Minimum Risk	Low Risk	Low Risk	Moderate Risk	High Risk
	Rare	Minimum Risk	Minimum Risk	Low Risk	Moderate Risk	High Risk

Fig. 5 – The Risk Matrix and how X-Events are underestimated

However, since risk is a consequence of system dependence [21], it is incoherent to discard the events at the extremities, since there tend to be more and more interconnected and complex systems, which leads to an improvement of the CAS against the recurring events, at the same time as the incidence of non-recurring events (X-Events or Black Swan) increases [6].

The direct relationship between systems' resilience and their degree of interconnection is also highlighted by Allen & Gale [22] and Acemoglu *et al.* [23]. While Markose *et al.* [24], present the lack of public information for the correct analysis of interbank relationships, which lead risk management models to simplifications and errors that can be fatal to the markets [25]–[28].

As Adrian & Brunnermeier [29] had already attempted, individual and micro-prudential instruments should be replaced

by models that cover systemic risk and allow a macro-prudential approach [30], [31].

In this context, the Basel Committee [32], [33] launches as baseline indicators for the new risk management methodologies to be adopted by financial institutions: size; interconnections with other institutions; interjurisdictional activities; substitutability of its services; complexity.

In addition, robustness proves to be insufficient for the development of systems, as internal and external changes over time eventually fragment them and make them increasingly vulnerable to extreme events. Therefore, it is paramount to measure the sensitivity of the systems to the unknown, as this will dictate the decisions to be taken in order to improve the search for antifragility [6].

Unlike the classical approach, in the analysis of complex systems we cannot analyze its components separately nor adopt linearity and causality as means for their understanding [34]. On the other hand, the emergence becomes constant before the interaction and influence between the systems and the environment [35], and the unpredictability present in this process can no longer be neglected by the instruments of risk analysis [36], [37].

Thus, robust approaches emerge. Its basis is non-linear mechanisms and precautionary measures, control and improvement of systems, rather than acting on probabilities of future occurrences and forecasting attempts [20], [34].

In this regard, we highlight Resilience Engineering, whose proposal is to find ways to improve the resilience of systems, making them more adaptive, so as to better absorb and adapt to volatility and stress [36].

Righi *et al.* [38] and Bergström *et al.* [39], also emphasize the importance of resilience engineering in risk assessment and risk management processes, since it encompasses the complexity present in the current scenario and uses thought-forms that relate risk to performance and improvement processes over time of time [40].

The pre-Holling idea of resilience, which holds that a resilient system is one that remains in equilibrium and retreats to early stages when under stress, is left out. Instead, equilibrium is seen as something damaging (which leads to stagnation) and resilience as an emergent property of CAS, which allows them to cushion the effects of disturbances and adapt to changes, no longer retreating to early stages, but by launching them at more advanced stages [34], [41].

Accordingly, the concept of antifragility proposed by Taleb [1] comes to extend the concept of resilience (pre-Hollinger) when affirming that a certain level of uncertainties and stress, over time, is beneficial and necessary for the best performance of the systems. The focus on system vulnerabilities is no longer the basis of risk management methodologies, but the system potentials are exalted [42].

Trying to predict the future has already proved inefficient in the face of the existing complexity [20], [34]. It is necessary to stop trying to predict the future, accept the unpredictability and adopt methods, which provide means and information that contribute to the adjustment of systems [1], [43].

Thus, measuring the sensitivity of systems to future variations and understanding how they will respond to X-Events becomes a necessary precondition for the process of improving systems [1], [18], [44], [45].

C. Measurement of Antifragility

After the conceptualization of antifragility, Taleb [46] also highlighted the inefficiency of traditional risk management methods for complex systems. Alternatively, they proposed to measure the antifragility of CAS, because when we glimpsed how fragile or antifragile a system is, we will have a sense of how it will face future changes and uncertainties and can improve it if necessary.

They used heuristics - strategic decision-making rules, similar to natural cognitive processes and based on past experiences, which omit some information available to make quick decisions [47], [48] - and comparisons between observed stages and the "optimal stage" to transpose system sensitivity to variations of the elements that make up the "measurement function". However, the authors themselves point out that this method does not provide an accurate measure of (anti)fragility, serving only to guide whether a system is more fragile than antifragile.

Based on the assumption that antifragility is the improved resilience [49], it is important to highlight the characteristics that improve resilience in order to measure antifragility. In this line, De Florio firstly defines Antifragility as an associate of resilience, elasticity and machine learning [50]. After, De Florio [41] proposes that resilience - as an emergent property resulting from the interaction between systems and environment - can be seen as the product of internal behaviours. In its turn, such behaviours are linked to "resilient organs", which the author associates with the MAPE-K loop of autonomic computation, where each element corresponds to the following capacity:

M = to perceive the changes;

A = to perceive the consequences of the changes;

P = to plan against threats;

E = to execute the planned;

K = to learn and thereby improve the skills M , A , P and E , improving the system [51].

Such a methodology makes it possible to compare any two resilient systems, p_1 and p_2 , through their behavioral classes β_1 and β_2 , where to say that $\beta_1 < \beta_2$ is the same as saying that p_1 demonstrates a systemically inferior resilience to that presented by p_2 [41]. However, it still does not provide an exact measure of antifragility, but it demonstrates which features of the system dictate its resilience and consequently its antifragility. This is in contrast to previous work by the author, where antifragility is the product of increased elasticity resilience and machine learning [50].

In addition, Verhulsta [52] introduces the ARRL (Assured Reliability and Resilience Level) where he argues that for the emergence of the antifragilidade of the complex systems it is necessary: 1) Openness, where all information must be shared and accessible to all; 2) Constant feedbacks, among all agents involved; 3) Independent regulatory agents; 4) Fault tolerance, possible by redundancy; 5) Existence of stress, is beneficial; 6) Knowledge, acquired through learning with mistakes and failures; 7) Constant reconfiguration capability.

Rafi *et al.* [43], when addressing the Islamic financial system highlights as characteristic that make it antifragile: 1) Prohibition of asymmetric information and speculation; 2) Collaborative and collective behavior; 3) Bottom-up

management and adjustments; 4) Redundant agents; 5) Creative destruction, where through feedback and learning, failures and mistakes aid in the process of system improvement;

In search of a more accurate measure, Johnson & Gheorghe [2], aiming to measure the antifragilidade of the electrical network of the USA, list some analytical criteria of antifragility observed by them in the work of Casti [14], Taleb [1] and Jackson & Ferris [53]. These criteria are:

1) **Entropy**: increasing complexity over time. It leads to the increase of uncertainties and unpredictability, leading to the emergence of X-Events;

2) **Emergence**: The relationship between agents results in unforeseeable outputs that can't be explained by the individual analysis of the parts;

3) **Efficiency Vs. Risk**: the higher the risk protection the lower the system efficiency;

4) **Balancing Constraints Vs. Freedom**: The ideal is to have a balance, without too many restrictions or freedom. The greater the degree of freedom, the greater the exposure of the system to X-Events;

5) **Coupling (Loose / Tight)**: The more interconnected (coupled) agents are, the more fragile the system tends to be;

6) **Requisite Variety**: The need for regulatory agents to monitor and control outcomes and behaviors of agents and systems. Without proper regulation, the trend of occurrence of X-Events is greater;

7) **Stress Starvation**: Stress retention and quest for constant balance tends to make systems fragile. Small doses of stress and disorder increase the resilience / antifragility of systems;

8) **Redundancy**: Presence of agents with the same functionality. It generates excessive capacity and prevents faults. From a certain point, it can plaster the system and make it fragile.

9) **Non-Monotonicity**: Errors and failures along with new information are elements of learning to the system, which can lead to the improvement of old processes or the generation of new practices and approaches.

10) **Absorption**: Ability to absorb stress and shocks while remaining in the planned state. The higher the absorption capacity, the stronger the system tends to be. It is a prerequisite for antifragility.

At each criterion, important organizational characteristics are related to their stakeholders - such as strategy, policy, processes, etc. - and questions, based on these criteria and characteristics are made, in order to understand how the system tends to respond to stress. Through a set of responses – based on the 5-point Likert scale, which can range from (1) Strongly disagree to (5) Strongly agree or (1) Significantly degrade to (5) Significantly improve – the authors can obtain easy-to-measure responses, which take a quantitative form, the antifragility of each organization being represented by its average of the criteria values [2].

By adopting this same methodology, Ghasemi & Alizeradeh [18] select 7 out of 10 antifragility analytical criteria and request that collaborators of the analyzed organization respond to the elaborated questionnaire. Subsequently, linguistic responses were transformed into quantitative variables through the use of triangular fuzzy numbers and, in the end, it was possible to attribute an exact measure of antifragility to the organization.

In Table I, we highlight the 6 criteria that we consider important for the antifragility measurement process. In it, it is possible to observe that, even with different forms or names, some of the analytical characteristics of the antifragility are redundant among the analyzed works.

TABLE I
ANTIFRAGILITY ANALYTICAL CRITERIA

Johnson & Gheorghe [2] Antifragility Analytical Criteria	De Florio [50] Antifragility Equation	De Florio [41] "Resilient Organs" (loop MAPE-K)	Verhulsta [52] ARRL Classes	Rafi et al. [43] Islamic Finance System
Redundancy			Fault Tolerance; Defences against risks	Redundant Agents
Emergence	Elasticity; Machine Learning		Knowledge; Constant reconfiguration capability	Bottom-up
Requisite Variety		M	Opening; Independent regulatory agents	Prohibition of asymmetric information and speculation
Stress Starvation	Elasticity	A and M	Fault Tolerance; Existence of stress	
Non-Monotonicity	Machine Learning	P, E and K	Constant Feedback; Knowledge; Constant reconfiguration capability	Collaborative and collective behavior; Creative destruction
Absorption	Resilience		Fault Tolerance	

Thus, we can assume that these characteristics are the most important for the emersion and improvement of the antifragility. Resulting from its sum the degree of antifragility of the system.

III. METHODOLOGY

In this session we will discuss the steps and methods used throughout this work. Each process revolves around the measurement of the degree of Antifragility, represented here by the Banking Antifragility Index (BAI), of each one of the 42 financial organizations analysed.

We chose to use a questionnaire, composed of 18 questions related to the 6 analytical criteria of Antifragility - redundancy, emergence, requisite variety, stress starvation, non-monotonicity and absorption - chosen for the IAB calculation. Through the choice of variables linked to the most diverse fields, we seek to provide a more comprehensive analysis of the company, through a more holistic view, consistent with the complexity that torments them and that is becoming more and more present in our day to day. Each question will be answered through a five-point Likert scale, ranging from the weakest (1) to the strongest (5).

In order to avoid distortions and biases that could be caused by the collection of responses from employees of organizations, it was decided to use public data from such organizations (or related to them) to respond to the questionnaire. The variables on which the answers were based on were chosen after extensive analysis and debate among some financial professionals. In Table II we can see the variables chosen and to which criterion they are related.

TABLE II
ANTIFRAGILITY ANALYTICAL CRITERIA AND THEIR MEASUREMENT VARIABLES

Antifragility Analytical Criteria	Synthesis	Variables
Redundancy	Fault Tolerance Defences against risks	Numbers of employee Shareholder other banks
Emergence	Knowledge and innovation Bottom-up movements	Brand Value Corporate University Research Institute Startup Accelerator R&D centers
Requisite Variety	Information sharing Regulation and audit	Developed Portal Rating
Stress Starvation	Fault tolerance	Government agency Beta (β) Capital ratio Basel AML Index Probability of default (PD)
Non-Monotonicity	Ability to learn and improve Constant feedback	% Revenue Growth Δ Brand value
Absorption	Resilience Ability of adaptation	ESG Rating EBITDA margin

When transcribing the answers through the Likert scale, a standardization of the measurement units is carried out. However, for correct manipulation and analysis of the variables it is necessary to impute numerical values, which represent them with their corresponding degrees, and for this we opted for the use of the triangular fuzzy number (TFN).

The triangular fuzzy number is usually represented by $A = (l, m, u)$, where l and u respectively correspond to the lower and upper limit and m to the mean value. Its function of pertinence, encompasses all possible values that a specific variable can assume and is represented by $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$.

Its triangular shape can be described as follows:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l < x < m \\ 1, & x = m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m < x < u \\ 0, & x < l \text{ or } x > u \end{cases}$$

In Fig. 5, we have the graphical representation of the degree of pertinence of the set, where it is possible to glimpse that m assumes the highest value.

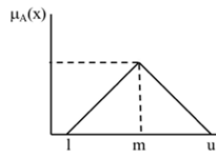


Fig. 6 – Triangular fuzzy numbers

In order to transform the qualitative terms, represented by the 5 degrees of Likert scale (strongly disagree, neutral, agree and strongly agree), into triangular fuzzy numbers, we chose the simple division of the interval $[0,1]$, as we can see in Table III.

TABLE III
RESPONSE INTERVAL

Strongly Disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly Agree
(0,0, 0,1, 0,2)	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,4, 0,5, 0,6)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,8, 0,9, 1,0)

For each criterion in the Antifragility measurement equation a weight should be assigned. Our first idea was to use the Shannon entropy method (as used by Ghasemi & Alizeradeh [18]), which, for being objective, obtains the weights through mathematical models and does not undergo any influence of the preferences of the decision maker.

However, since there is no set of answers but only one answer – based on predetermined parameters on the institutions – for each question, the use of Shannon entropy method to calculate the weights of each criterion is invalidated. Given this, after discussing the importance of each criterion, we chose to define the same weight for all.

In Table IV it is possible to see the mean of the answers of each criterion.

TABLE IV
VALUES OF EACH ANTIFRAGILITY ANALYTICAL CRITERIA

Org.	Redundancy	Emergence	Requisite Variety	Stress Starvation	Non-Monotonicity	Absorption
HSBC	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,68, 0,78, 0,88)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,3, 0,4, 0,5)	(0,4, 0,5, 0,6)
UBS	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,6, 0,7, 0,8)
Goldman Sachs	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,4, 0,5, 0,6)
Bank of America	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,64, 0,74, 0,84)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,4, 0,5, 0,6)
Citigroup	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,64, 0,74, 0,84)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,4, 0,5, 0,6)
Credit Suisse	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,5, 0,6, 0,7)
JPMorgan	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,56, 0,66, 0,76)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,8, 0,9, 1,0)	(0,6, 0,7, 0,8)
Morgan Stanley	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,4, 0,5, 0,6)
RBS	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,64, 0,74, 0,84)	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,5, 0,6, 0,7)
Barclays	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,4, 0,5, 0,6)
Wells Fargo	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,64, 0,74, 0,84)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,4, 0,5, 0,6)
Santander	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,4, 0,5, 0,6)
Deutsche Bank	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,28, 0,38, 0,48)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,4, 0,5, 0,6)
Credit Agricole	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,5, 0,6, 0,7)
BNP Paribas	(0,3, 0,4, 0,5)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,5, 0,6, 0,7)
Minibisi UFJ FG	(0,4, 0,5, 0,6)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,4, 0,5, 0,6)
Bank of China	(0,3, 0,4, 0,5)	(0,56, 0,66, 0,76)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,4, 0,5, 0,6)
Mizuho FG	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,5, 0,6, 0,7)
Societe Generale	(0,1, 0,2, 0,3)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,3, 0,4, 0,5)
ING Bank	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,5, 0,6, 0,7)
Sumitomo Mitsui FG	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,4, 0,5, 0,6)
Unicredit Group	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,28, 0,38, 0,48)	(0,3, 0,4, 0,5)	(0,5, 0,6, 0,7)
Nordea Bank	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,5, 0,6, 0,7)
BBVA	(0,1, 0,2, 0,3)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,4, 0,5, 0,6)
Standard Chartered	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,8, 0,9, 1,0)	(0,4, 0,5, 0,6)
Bank of NY Mellon	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,4, 0,5, 0,6)
State Street	(0,4, 0,5, 0,6)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,40, 0,50, 0,60)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,5, 0,6, 0,7)
CCB	(0,3, 0,4, 0,5)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,5, 0,6, 0,7)
ABC	(0,4, 0,5, 0,6)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,3, 0,4, 0,5)
Bank of Comm.	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,5, 0,6, 0,7)
China Merchants	(0,2, 0,3, 0,4)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,6, 0,7, 0,8)	(0,36, 0,46, 0,56)	(0,8, 0,9, 1,0)	(0,5, 0,6, 0,7)
RBC	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,52, 0,62, 0,72)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,48, 0,58, 0,68)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,5, 0,6, 0,7)
Commonwealth Bank	(0,0, 0,1, 0,2)	(0,32, 0,42, 0,52)	(0,7, 0,8, 0,9)	(0,44, 0,54, 0,64)	(0,5, 0,6, 0,7)	(0,6, 0,7, 0,8)

Itau Unibanco	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.5, 0.6)
ICBC	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.64, 0.74, 0.84)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)
Lloyds Banking	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7)
Citic Limited	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)
Commerzbank AG	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.6, 0.7, 0.8)
Intesa Sanpaolo	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)
Bradesco	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.5, 0.6)
Banco do Brasil	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.5, 0.6)
Westpac Banking	(0.0, 0.1, 0.2)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7)

Societe Generale	(0.41, 0.51, 0.61)
Lloyds Banking Group	(0.41, 0.51, 0.61)
Credit Suisse	(0.41, 0.51, 0.61)
Itau Unibanco Holding	(0.40, 0.50, 0.60)
Commerzbank AG	(0.40, 0.50, 0.60)
Goldman Sachs	(0.39, 0.49, 0.59)
Royal Bank of Scotland	(0.39, 0.49, 0.59)
Intesa Sanpaolo	(0.39, 0.49, 0.59)
Bradesco S.A.	(0.39, 0.49, 0.59)
Westpac Banking Co.	(0.38, 0.48, 0.58)
Unicredit Group	(0.36, 0.46, 0.56)
Banco do Brasil S.A.	(0.36, 0.46, 0.56)

IV. RESULTS

From the results found for each analysis criterion of antifragility of the institutions, we were able to identify the Banking Antifragility Index for each of the 42 financial institutions analysed by us.

In Table V it is possible to see the BAI of each institution.

TABLE V
VALUES OF BAI

Financial Organization	Banking Antifragility Index
JPMorgan	(0.58, 0.68, 0.78)
ICBC	(0.52, 0.62, 0.72)
Bank of China	(0.50, 0.60, 0.70)
China Construction Bank	(0.50, 0.60, 0.70)
Citigroup	(0.49, 0.59, 0.69)
State Street	(0.49, 0.59, 0.69)
ABC	(0.49, 0.59, 0.69)
Bank of America	(0.48, 0.58, 0.68)
Wells Fargo	(0.48, 0.58, 0.68)
BNP Paribas S.A	(0.48, 0.58, 0.68)
Bank of Communications Co.	(0.48, 0.58, 0.68)
China Merchants Bank	(0.48, 0.58, 0.68)
Royal Bank of Canada	(0.48, 0.58, 0.68)
Mitsubishi UFJ FG	(0.47, 0.57, 0.67)
BBVA	(0.46, 0.56, 0.66)
UBS	(0.46, 0.56, 0.66)
HSBC	(0.45, 0.55, 0.65)
Deutsche Bank	(0.45, 0.55, 0.65)
ING Bank	(0.45, 0.55, 0.65)
Bank of NY Mellon Co.	(0.45, 0.55, 0.65)
Sumitomo Mitsui FG	(0.44, 0.54, 0.64)
Santander	(0.43, 0.53, 0.63)
Standard Chartered	(0.43, 0.53, 0.63)
Commonwealth Bank	(0.43, 0.53, 0.63)
Morgan Stanley	(0.42, 0.52, 0.62)
Barclays	(0.42, 0.52, 0.62)
Nordea Bank	(0.42, 0.52, 0.62)
Citic Limited	(0.42, 0.52, 0.62)
Credit Agricole S.A.	(0.41, 0.51, 0.61)
Mizuho FG	(0.41, 0.51, 0.61)

The values are in a range of 0 to 1, where the higher the value, the more antifragile the organization tends to be. In addition, to facilitate the framing and comparison of results found, the median value (m) of the set is used to represent the BAI of each organization.

Thus, in the sample of financial institutions analysed, JP Morgan is the one that shows the highest value, 0.68, and Banco do Brasil S.A., the lowest, 0.46.

V. CONCLUDING REMARKS

After a bibliographical review, an extensive analysis of the studies and existing methods related to the measurement of corporate antifragility was made and we chose the use of fuzzy logic, since it was the one that best suited our needs and demands. In conjunction with the use of antifragility analytical criteria, previously highlighted by Ghasemi & Alizadeh [18], and with the choice of pre-established variables to represent and measure it, it was possible to avoid bias in the answers given to the questionnaire created.

Through the transcription of Likert scale responses to numerical values, we were able to find satisfactory results - easy to analyse and compare - for the measurement of the Banking Antifragility Index of each institution. The use of variables from the most diverse areas allowed a more holistic view / analysis of the organizations, like complex adaptive systems, which are permeated and surrounded by complexity.

From the results presented, it can be seen that banks with higher BAIs have positive changes in their brand value in the last year and increase their annual profit. This fact, from our view, is intrinsically linked to most of these institutions possessing excellent levels of investments and actions in innovation and education, through Labs and R&D Centers, Research Institutes, Startup Accelerator Partnership and Corporate University and/or partnerships with universities.

Taking into account the analysis of the data collected and the results presented, we can see that the present study presents some limitations due to the lack of data availability of some institutions. This limitation hinders a more comprehensive analysis of the activities of institutions that, according to the expertise of some professionals in the industry, would be linked to the development of corporate antifragility.

It should be noted that each branch of business tends to have

its own set of variables linked to the development of the antifragility of its companies. In future works, it would be important to incorporate more variables into the antifragility measurement set of organizations. The more variables – confined to the different antifragility analytical criteria – make up the measurement process, more comprehensive and consistent with the corporate capacity to survive X-Events and to benefit from disorder and chaos tend to be the indexes found.

Finally, we would like to point out that even though there are still points to improve, our work shows a good progress in relation to previous analyses. Our analysis is based on data, not employee perceptions or opinions, which reduces or eliminates the noise present in the results. In addition, we are not limited to measuring the antifragility of a single company. Through BAI, it is possible to analyse a sample of institutions and compare their levels of antifragility, which provides important information for organizations to improve the development of their antifragility.

REFERENCES

- [1] N. N. Taleb, *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House Incorporated, 2012.
- [2] J. Johnson and A. V. Gheorge, "Antifragility analysis and measurement framework for systems of systems," *Int. J. Disaster Risk Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 159–168, 2013.
- [3] Y. Bar-Yam, "Multiscale variety in complex systems," *Complexity*, vol. 9, no. 4, pp. 37–45, 2004.
- [4] J. H. Holland, "Studying complex adaptive systems," *J. Syst. Sci. Complex.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, 2006.
- [5] O. T. Holland, "Partitioning method for emergent behavior systems modeled by agent-based simulations," 2012.
- [6] K. J. Hole, *Anti-fragile ICT Systems*. 2016.
- [7] R. Chiva, P. Ghauri, and J. Alegre, "Organizational Learning, Innovation and Internationalization: A Complex System Model," *Br. J. Manag.*, vol. 25, no. 4, pp. 687–705, 2014.
- [8] M. Gell-Mann and S. Lloyd, "Information measures, effective complexity, and total information," *Complexity*, vol. 2, no. 1, pp. 44–52, 1996.
- [9] B. Ellis and S. I. Herbert, "Complex adaptive systems (CAS): An overview of key elements, characteristics and application to management theory," *J. Innov. Heal. Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 33–37, 2011.
- [10] Y. M. Carlisle and E. McMillan, "Complex Adaptive Systems and Strategy as Learning," in *Global Innovation and Entrepreneurship: Challenges and Experiences from East and West*, pp. 43–60.
- [11] D. Parker and R. Stacey, *Caos, administração e economia as implicações do pensamento não-linear*. Instituto Liberal, 1995.
- [12] R.-A. Thietart and B. Forgues, "Complexity science and organization," *SAGE Handb. Complex. Manag.*, pp. 53–64, 2011.
- [13] A. Danchin, P. M. Binder, and S. Noria, "Antifragility and tinkering in biology (and in business) flexibility provides an efficient epigenetic way to manage risk," *Genes (Basel)*, vol. 2, no. 4, pp. 998–1016, 2011.
- [14] J. L. Casti, *X-Events: The collapse of everything*. Harper Collins, 2012.
- [15] N. N. Taleb, *The Black Swan: The impact of the highly improbable*. 2010.
- [16] M. Gladwell, *The tipping point: How little things can make a big difference*. Little, Brown, 2006.
- [17] N. N. Taleb and R. Douady, "Mathematical definition, mapping, and detection of (anti)fragility," *Quant. Financ.*, vol. 13, no. 11, pp. 1677–1689, 2013.
- [18] A. Ghasemi and M. Alizadeh, "Evaluating Organizational Antifragility Via Fuzzy Logic . The case of an Iranian Company," *Oper. Res. Decis.*, vol. 27, no. 2, pp. 21–43, 2017.
- [19] P. Triana, *Lecturing Birds on Flying: Can Mathematical Theories Destroy the Financial Markets? 2009*.
- [20] T. Aven, "The Illusion of Risk Control," in *A conceptual foundation for assessing and managing risk, surprises and black swans*, Springer, Cham, 2017, pp. 23–39.
- [21] D. Geer, "Resolved: The Internet is no place for critical infrastructure," *Commun. ACM*, vol. 58, no. 6, pp. 48–53, 2013.
- [22] F. Allen and D. Gale, "Financial contagion," *J. Polit. Econ.*, vol. 108, no. 1, pp. 1–33, 2000.
- [23] D. Acemoglu Asuman Ozdaglar Alireza Tahbaz-Salehi, D. Brown, O. Candogan, G. Gorton, A. Jadbabaie, J.-C. Rochet, A. Simsek, and A. Shourideh, "Systemic Risk and Stability in Financial Networks Systemic Risk and Stability in Financial Networks," *Am. Econ. Rev.*, vol. 105, no. 2, pp. 564–608, 2015.
- [24] S. Markose, S. Giansante, and A. R. Shaghghi, "'Too interconnected to fail' financial network of US CDS market: Topological fragility and systemic risk," *J. Econ. Behav. Organ.*, vol. 83, no. 3, pp. 627–646, 2012.
- [25] S. Vitali, J. B. Glatfelder, and S. Battiston, "The network of global corporate control," *PLoS One*, vol. 6, no. 10, p. e25995, 2011.
- [26] H. Elsinger, A. Lehar, and M. Summer, "Network models and systemic risk assessment," *Handb. Syst. Risk*, no. 403, pp. 1–24, 2013.
- [27] K. Anand, S. Brennan, P. Gai, S. Kapadia, and M. Willison, "A Network Model of Financial System Resilience," *J. Econ. Behav. Organ.*, vol. 85, no. 1, pp. 219–235, 2013.
- [28] S. Battiston, G. Caldarelli, R. M. May, T. Roukny, and J. E. Stiglitz, "The price of complexity in financial networks," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 113, no. 36, pp. 10031–10036, 2016.
- [29] T. Adrian and M. K. Brunnermeier, "Tobias Adrian and Markus K. Brunnermeier 1," *J. Econ. Perspect.*, vol. 106, no. 7, pp. 1705–1741, 2016.
- [30] M. Billio and A. W. Lo, "Econometric measures of systemic risk in the finance and insurance sectors," 2010.
- [31] S. Benoit, J. Dudek, and M. Sharifova, "Identifying SIFIs: Toward the simpler Approach," pp. 1–33, 2013.
- [32] BCBS, *Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems*. Bank for International Settlements, 2011.
- [33] BCBS, *Basel III: Finalizing post-crisis reforms*. Bank for International Settlements, 2017.
- [34] R. Dahlberg, "From Risk to Resilience - Challenging Predictability in Contemporary Disaster and Emergency Management Thinking," University of Copenhagen, 2017.
- [35] S. Dekker, P. Cilliers, and J. H. Hofmeyr, "The complexity of failure: Implications of complexity theory for safety investigations," *Saf. Sci.*, vol. 49, no. 6, pp. 939–945, 2011.
- [36] J. Park, T. P. Seager, P. S. C. Rao, M. Convertino, and I. Linkov, "Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems," *Risk Anal.*, vol. 33, no. 3, pp. 356–367, 2013.
- [37] E. Hollnagel, "Resilience engineering and the built environment," *Build. Res. Inf.*, vol. 42, no. 2, pp. 221–228, 2014.
- [38] A. W. Righi, T. A. Saurin, and P. Wachs, *A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal*, vol. 141. Elsevier, 2015.
- [39] J. Bergström, R. Van Winsen, and E. Henriqson, "On the rationale of resilience in the domain of safety: A literature review," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 141, pp. 131–141, 2015.
- [40] T. Aven, "Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 253, no. 1, pp. 1–13, 2015.
- [41] V. De Florio, "On Resilient Behaviors in Computational Systems and Environments," *J. Reliab. Intell. Environ.*, pp. 33–46, 2015.
- [42] G. C. Gallopin, "Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 16, no. 3, pp. 293–303, 2006.
- [43] U. Rafi, A. Mirakhor, and H. Askari, "Radical uncertainty , non-predictability , antifragility and risk-sharing Islamic finance," *PSL Quarterly Rev.*, vol. 69, no. 279, pp. 337–372, 2016.
- [44] P. Gai, A. Haldane, and S. Kapadia, "Complexity, concentration and contagion," *J. Monet. Econ.*, vol. 58, no. 5, pp. 453–470, 2011.
- [45] D. Kennon, C. S. L. Schutte, and E. Lutters, "An alternative view to assessing antifragility in an organisation: A case study in a manufacturing SME," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 64, no. 1, pp. 177–180, 2015.
- [46] N. N. Taleb, "A Map and Simple Heuristic to Detect Fragility, Antifragility, and Model Error," *SSRN Electron. J.*, pp. 1–15, 2011.

- [47] G. Gigerenzer and H. Brighton, "Homo Heuristicus: Why Biased Minds Make Better Inferences," *Top. Cogn. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 107–143, 2009.
- [48] F. Artinger, M. Petersen, G. Gigerenzer, and J. Weibler, "Heuristics as adaptive decision strategies in management," *J. Organ. Behavior*, vol. 36, no. S1, 2014.
- [49] D. S. Passos, H. Coelho, and F. M. Sarti, "From Resilience to the Design of Antifragility," in *PESARO 2018: The Eight International Conference on Performance, Safety and Robustness in Complex Systems and Applications*, 2018, pp. 7–11.
- [50] V. De Florio, "Antifragility = Elasticity + Resilience + Machine learning: Models and algorithms for open system fidelity," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 32, no. Antifragile, pp. 834–841, 2014.
- [51] J. Kephart and D. Chess, "The Vision of Autonomic Computing," *IEEE Comput.*, vol. 36, no. 1, pp. 41–50, 2003.
- [52] E. Verhulsta, "Applying systems and safety engineering principles for antifragility," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 32, no. Antifragile, pp. 842–849, 2014.
- [53] S. Jackson and T. L. J. Ferris, "Resilience Principles for Engineered Systems," *Syst. Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 152–164, 2013.

3.3.1. Considerações sobre o Artigo 3

O artigo 3 é o último trabalho que compõe a nossa pesquisa. Neste, buscamos avaliar a Antifragilidade das mesmas 42 instituições financeiras que compõem a nossa rede interbancária do segundo artigo. Para tal, propomos a criação do Índice de Antifragilidade Bancária (IAB), cuja composição é feita a partir de 18 variáveis, tratadas através da Lógica Fuzzy.

A sua primeira contribuição importante assenta no destaque atribuído a novos métodos de análise dos mercados e respetivos agentes. Revisitando trabalhos como os de Parker & Stacey (1995), Thietart & Forgues, 2011, Johnson & Gheorghe (2013) e Hole (2016), releva-se a necessidade de vislumbrar os mercados financeiros e as suas instituições como sistemas complexos, que de facto são.

Este destaque é necessário, pois é a partir desta percepção – de que tudo e todos somos e/ou pertencemos a sistemas complexos – que sustentamos a incoerência e a ineficiência de se utilizarem modelos tradicionais na gestão de risco das organizações financeiras.

A gestão de risco tradicional, estruturada em modelos estáticos e lineares, foca-se em analisar a organização de forma isolada e em condições de normalidade. No entanto, com os sistemas complexos estruturados em redes de agentes interconectados, todos sofrem influência (e influenciam) e agem de forma não linear.

Tal constatação apoia-se nos trabalhos de Allen & Gale (2000), Triana (2009), Taleb & Doaudy (2013), Hole (2016) e outros, que observam os erros existentes nos métodos tradicionais de gestão de risco. A análise individualizada de cada agente – com a exclusão das interconexões entre os agentes e as influências entre estes e o meio – e a supressão de eventos extremos – em virtude da sua baixa probabilidade ou por desconhecimento dos mesmos – são os seus piores equívocos.

No âmbito do mercado financeiro, tais comprovações estão em consonância com as diretrizes traçadas pelo Comité de Basileia. É proposta a adoção de uma abordagem macroprudencial para análise dos agentes, e entre os novos indicadores de gestão de risco figuram a complexidade e as interconexões entre as instituições.

Feito um apanhado de tudo isto, evidenciamos que a gestão de risco já não deve ser fundamentada unicamente em probabilidades e tentativas de previsões. É necessário, e mais eficiente, focarmo-nos em mecanismos que promovam e impulsionem a resiliência dos sistemas.

Nesse contexto, reportamo-nos à essência do nosso primeiro artigo, a fim de lembrarmos que a resiliência, citada em muitas das nossas referências, é aqui entendida e tratada como a própria Antifragilidade. Tal é importante para evitar a confusão que alguns

autores fazem ao equiparar a resiliência com a robustez, e também para salientar a importância dos choques e desequilíbrios para o crescimento dos sistemas.

Aqui, evidenciamos os benefícios da Engenharia de Resiliência para a gestão de risco. O seu objetivo é encontrar formas de desenvolvimento da Antifragilidade dos sistemas, o que lhes confere maior maleabilidade, independentemente do cenário.

Diante da tentativa falha de prever riscos, a medida da sensibilidade dos sistemas ao *stress*, com o intuito de impulsionar a sua Antifragilidade, aparenta ser uma ótima opção para gerir riscos e auxiliar no desenvolvimento das organizações.

De uma maneira geral, a maioria dos estudos – que se propuseram a verificar o quão (anti)frágil é um sistema e o que impulsiona o desenvolvimento da sua (Anti)fragilidade – faz um apanhado de elementos e habilidades que os sistemas devem apresentar para a emergência da sua Antifragilidade. Entre estes elementos, destaca-se: o comportamento colaborativo, a monitorização, o *feedback* constante, o planeamento, a adaptação, a redundância, a tolerância ao *stress*, a capacidade de aprendizagem, e a partilha de conhecimento.

Apesar da sua mais valia, nenhum destes estudos fornece uma medida exata para a Antifragilidade das organizações, e que impeça um comparativo entre as mesmas. No seguimento da nossa pesquisa, surge o estudo de Johnson & Gheorghe (2013), onde os autores citam os critérios analíticos da Antifragilidade.

Focado na rede de energia elétrica dos EUA, o estudo apresenta alguns critérios que não nos pareceram ser indicados para o setor financeiro. Então, para definição dos critérios que iríamos utilizar, comparámos o estudo com outros anteriores e destacámos os critérios analíticos que possuíam correspondência nos restantes trabalhos.

Tal como podemos ver na Tabela I do artigo, escolhemos 6 critérios analíticos para medida da Antifragilidade das instituições financeiras. A partir destes, criámos o que designamos de Índice de Antifragilidade Bancária (IAB).

O nosso objetivo com o IAB é fornecer uma medida exata para a Antifragilidade de cada instituição, possibilitando assim a comparação entre todas as organizações analisadas.

Para a definição da metodologia usada para medida do Índice de Antifragilidade Bancária, usámos como referência o trabalho de Ghasemi & Alizadeh (2017). Ao longo de toda a nossa pesquisa, este foi o único trabalho que encontramos que propôs um modelo prático para medir a Antifragilidade. Entre os critérios analíticos da Antifragilidade, os autores escolheram 7, e a cada um deles associaram questões que

compuseram um questionário que deveria ser respondido por colaboradores da ‘*empresa case*’, e cujas respostas seriam a base de dados para o processo.

Para o nosso caso, o uso de um questionário não nos pareceu indicado, visto que analisámos 42 instituições. Assim, optámos por utilizar dados públicos, e para o seu tratamento adotámos a mesma opção de Ghasemi & Alizeradeh (2017), a Lógica Fuzzy. Por utilizarmos dados qualitativos e quantitativos, precisávamos de um mecanismo que possibilitasse esta mescla e que fornecesse, por fim, um valor exato, que é a nossa referência ao grau de Antifragilidade de cada organização analisada.

Uma vez definidos os critérios e o mecanismo de avaliação, contámos com o conhecimento de um grupo de profissionais da área financeira para apontar os dados que consideravam interessante serem utilizados para medir cada critério analítico da Antifragilidade.

No final desta etapa, escolhemos diversas variáveis, de várias áreas, a fim de realizar uma análise mais holística das organizações – sendo condizente com as premissas da complexidade. Contudo, conforme alguns estudos já haviam destacado, deparámo-nos com a insuficiência de dados públicos, o que nos obrigou a escolher apenas 18 variáveis, cujos dados e informações constam de relatórios anuais das empresas e/ou de sítios financeiros.

Entre as variáveis escolhidas, e as razões em torno da sua escolha, temos:

- 1) *Número de empregados*: escolhido para representar a potência de mão de obra das instituições, ligada tanto à redundância quanto à sua capacidade de substituíbilidade;
- 2) *Acionistas de outras instituições financeiras*: informação que se apresentou durante a nossa recolha de dados e que se mostrou substancial para a importância das instituições na nossa rede;
- 3) *Valor da Marca*: informação que inclui elementos intangíveis da instituição, motivo pelo qual a escolhemos para representar um pouco da emergência da complexidade;
- 4) *Universidade Corporativa*: elemento associado à partilha de informação e à capacidade de aprendizagem do sistema organizacional e respetivos agentes;
- 5) *Instituto de Pesquisa*: ambiente focado na aprendizagem e realização de melhorias nas organizações;
- 6) *Acelerador de startup*: investimento em *startups*, associado à aprendizagem, tecnologia e parcerias, que demonstra a busca da organização em promover rápidas e eficientes soluções para o mercado;

7) *Centros de P&D*: foco na utilização da aprendizagem para inovar, desenvolvendo novos produtos e serviços para o mercado;

8) *Portal de desenvolvimento*: ambiente onde a instituição liberta os seus API (*Application Programming Interface*) – conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um *software* ou *app* –, visando parcerias e partilha de dados com outras instituições, normalmente *startups*;

9) *Rating*: instrumento utilizado pelo mercado e por órgãos reguladores, elaborado por agências privadas, que envolve uma visão mais ampla sobre as organizações, na busca por representar a capacidade de pagamento das mesmas;

10) *Participação do Governo*: muitas instituições mistas, com participação do governo, obtêm um apoio deste em situações de crise, razão pela qual escolhemos tal variável para compor o bloco de tolerância ao *stress*;

11) *Beta (β)*: indica se há correlação entre as ações da organização e o mercado. Beta próximo de zero indica menor risco, o que figura, no nosso entender, como sendo indicativo de maior tolerância ao *stress*;

12) *Índice de Capital*: introduzido no Basileia III, este índice é baseado no capital próprio e nas reservas indicadas pela instituição, e tende a representar a solidez da organização;

13) *AML Índice Basileia*: índice de combate à lavagem de dinheiro, desenvolvido pelo Comité de Basileia, baseado em fontes públicas e avaliações de especialistas;

14) *Probabilidade de inadimplência*: difundido no Basileia II, este elemento representa o risco de não cumprimento das obrigações por parte de um agente, e, por isso mesmo, quanto menor for o seu valor, mais segura tende a ser a instituição;

15) *% crescimento de receita*: normalmente, o aumento crescente das receitas indica que a empresa está num processo de contínuo desenvolvimento; no cenário atual, isto está intrinsecamente interligado ao processo de monitorização e aprendizagem aplicado à melhoria;

16) Δ *Valor da Marca*: tal como acontece com o crescimento da receita, uma variação positiva no valor da marca tende a representar um processo de desenvolvimento positivo das empresas;

17) *ESG Rating*: engloba informações de âmbito ambiental, social e de governância das instituições, o que nos norteia sobre a capacidade de resiliência e de adaptação das mesmas;

18) *Margem EBITDA*: fornece o lucro ‘limpo’ (já com as tributações e impostos descontados) das organizações, motivo pelo qual a utilizamos como um indicador da

capacidade de proteção/adaptação da organização face a uma eventual desordem financeira ou crise.

Definido o processo e as variáveis, passámos à medida da Antifragilidade de cada uma das 42 organizações financeiras analisadas. O uso de informações pouco dinâmicas e a falta de dados públicos referentes a variáveis associadas à Antifragilidade foram as grandes limitações impostas ao nosso método. Todavia, mesmo com restrições, chegámos a uma medida de Antifragilidade apropriada às organizações.

Em trabalhos futuros, desejamos que mais informações públicas referentes à Antifragilidade das organizações – tais como investimentos em tecnologia, *startups*, educação, etc. – estejam disponíveis, pois quanto mais informações agregarmos ao modelo, mais sinérgico ao mercado financeiro este será.

Por fim, ressaltamos que, não obstante as referidas limitações, o Índice de Antifragilidade Bancária constitui um progresso face aos trabalhos anteriores, pois até então não existia qualquer metodologia que fornecesse uma medida exata para a Antifragilidade das organizações financeiras.

4. Considerações Finais

Ao longo do nosso trabalho, a complexidade foi massivamente destacada. Desde o início do processo, destaca-se o facto de o mundo estar em constante transformação e as premissas tradicionais – cartesianas, lineares, etc. – já não se enquadram no cenário atual.

A partir da Ciência da Complexidade, em razão dos seus estudos, premissas e teorias, é possível perceber que os sistemas complexos estão em todo o lado e que os agentes se encontram interligados entre si e o meio.

Sob esta ótica, o mercado financeiro e as suas instituições passam a ser retratados e analisados como sistemas complexos. As inter-relações entre os seus agentes ganham destaque, ficando progressivamente mais evidente a sua importância nas análises de cenário.

Perante estes dados, apresentámos, ao longo do presente trabalho, noções e conceitos ligados à complexidade, a fim de demonstrar a relação direta entre a crescente complexidade e a incerteza e imprevisibilidade quotidianas. Conceitos e mecanismos complexos – tais como sistemas complexos, Antifragilidade, Estigmergia, Teoria das Redes, etc. – foram explanados, de modo a que o seu entendimento possibilite a compreensão dos benefícios do seu uso na gestão de risco.

Ao elencarmos os problemas existentes na gestão de risco das instituições financeiras, conseguimos vislumbrar os *gaps* existentes e arquitetarmos o seu preenchimento.

Norteados pela nossa hipótese principal – na qual afirmamos que quanto maior é a importância de um agente na rede, maior tende a ser a sua Antifragilidade –, procurámos demonstrar como a Antifragilidade e outros elementos adjacentes à Ciência da Complexidade podem auxiliar no processo de gestão de risco das instituições financeiras.

A falta de uma conceptualização clara da Antifragilidade revelou-se o nosso primeiro obstáculo. Ao longo da revisão de diversos estudos, percebemos que não existia um conceito consensual da Antifragilidade.

Assim, no nosso primeiro artigo, a nossa contribuição passou por clarear o conceito de Antifragilidade, comprovando que a dissociação entre Antifragilidade e resiliência, defendida por Taleb (2012), não estava correta.

Ao abordarmos a complexidade, a resiliência, a Estigmergia e a Antifragilidade, pudemos demonstrar que a crescente complexidade instiga o desenvolvimento da resiliência.

Através do confronto de conceitos – de robustez, resiliência e Antifragilidade –, comprovámos que, ao longo do tempo, as capacidades estigmérgicas – auto-organização,

aprendizagem e adaptação – se agregaram ao mecanismo de resiliência, possibilitando aos sistemas resilientes não apenas resistirem aos choques, mas também beneficiarem destes, constituindo-se então antifrágéis.

Estabelecida uma descrição clara da Antifragilidade, avançámos para a estruturação da nossa rede interbancária. Optámos por abranger uma gama de bancos que representasse adequadamente o mercado financeiro global, escolhendo para o efeito 42 instituições financeiras, oriundas de diversas partes do mundo. Como elemento de ligação entre as instituições, optámos por não utilizar linhas e instrumentos de crédito, mas sim acionistas e fundos mútuos entre as instituições.

Para além de acionistas e fundos mútuos entre os agentes, pudemos perceber, ao longo da recolha de dados, que algumas instituições eram acionistas de outras. A fim de englobarmos corretamente esta informação na análise da nossa rede, abandonámos o uso das redes *monolayers*, tendo optado por estruturar uma rede *multilayer*.

A rede *multilayer* permitiu uma análise mais eficiente e uma representação mais fidedigna da realidade. Através desta, foi possível retratar todos os estados dos agentes – ‘só banco’, ‘banco acionista’, e ambos – em simultâneo, permitindo assim a correta análise da rede.

Do mesmo modo, optámos pelo uso do *PageRank* como medida de importância dos agentes da nossa rede. Com efeito, buscámos evidenciar a necessidade de uma medida de importância que englobasse não só o grau de ligação de um agente com os restantes, mas também o facto deste ser ou não acionista de outras instituições, levando igualmente em consideração o quão importantes são as instituições às quais está interligado.

Concluído o nosso segundo artigo, conseguimos demonstrar os benefícios de se utilizarem redes *multilayer* na estruturação e análise das redes financeiras. No que concerne a progressos perante estudos anteriores, importa destacarmos a escolha de uma rede composta por bancos multinacionais, com representatividade global, e o uso de acionistas e fundos mútuos como atributo associado à importância e influência das organizações, o que se reveste de contornos inéditos.

Uma vez finalizada a análise da nossa rede, focámo-nos na medida da Antifragilidade das instituições financeiras. Tal como Allen & Gale (2000), May *et al.* (2008), Taleb (2010) e Hole (2016) já destacavam, os modelos estruturados em probabilidades e análises isoladas dos agentes são ineficazes para a gestão de risco de instituições financeiras. Diante dessa ineficácia, frisámos a busca pelo desenvolvimento da sua Antifragilidade como a melhor opção para o seu desenvolvimento e a sua gestão de risco.

Conforme já referiam Hollnagel & Woods (2006), Hollnagel *et al.* (2014), Righi *et al.* (2015) e Aven (2015), também acreditamos que a Engenharia de Resiliência, cujo foco está no surgimento e desenvolvimento da resiliência, é o melhor caminho para as organizações trespassarem choques diversos e continuarem a evoluir.

Todavia, nenhum estudo anterior fornecia dados concretos para a execução e monitorização desse processo. A Antifragilidade, até então, era um conceito desprovido de um consenso alargado, e sem qualquer método de mensuração prática. Tal tornava impossível o vislumbre dos elementos atrelados ao seu aprimoramento, bem como a comparação do seu grau entre as instituições.

Assim, diante desse *gap*, estruturámos o nosso terceiro artigo, cuja grande contribuição assenta na criação do Índice de Antifragilidade Bancária (IAB). Com fundamentação no novo direcionamento proposto pelo Comité de Basileia (BCBS, 2018) para mensuração da importância das instituições financeiras – no qual substituíbilidade, atividade interjurisdicional, tamanho, inter-relações e complexidade das organizações figuram como elementos determinantes –, propomos um modelo prático e útil de mensuração da Antifragilidade das instituições financeiras.

Por oposição a modelos teóricos e pontuais já existentes, procuramos, através do IAB, desenvolver um modelo abrangente e condizente com a complexidade, com o qual obtemos, após o tratamento das variáveis, um valor exato que transcreve o grau de Antifragilidade da instituição analisada. Por meio deste modelo, podemos pontuar os pontos fortes e fracos da instituição e compará-la com as restantes, no que diz respeito à emergência e ao aprimoramento da Antifragilidade.

A fim de testarmos a nossa hipótese – na qual afirmamos que as instituições mais importantes na rede tendem a ser as mais Antifrágeis –, confrontamos os valores referentes ao grau de Antifragilidade de cada instituição com os resultados encontrados na análise topográfica da nossa rede *multilayer*.

Analisando o resultado desse confronto, pudemos vislumbrar que o JP Morgan, para além de figurar como a instituição mais importante (com maior *PageRank*) da nossa rede, também é a que apresenta maior IAB, enquanto o Banco do Brasil possui o menor *PageRank* da rede e o menor IAB. Quanto às restantes instituições, há uma certa variância entre o seu grau de importância e de Antifragilidade. Atribuímos isso à impossibilidade de utilizarmos variáveis mais dinâmicas, por falta de dados públicos, para medir a Antifragilidade.

Todavia, apesar do ruído, é possível ver a relação direta existente entre o grau de importância e de Antifragilidade dos agentes. Aqueles que figuram no quantil superior de importância não figuram no quantil inferior do IAB, e vice-versa.

Assim, além da comprovação da nossa hipótese, pudemos retirar o quão importante é agregarmos conceitos e teorias da complexidade a práticas já existentes de análise de cenários.

Estudos como os de Allen & Gale (2000), May *et al.* (2008), Taleb (2010) e Hole (2016) criticam os métodos tradicionais de gestão de risco, mas não indicam um método alternativo.

Hollnagel & Woods (2006), Hollnagel *et al.* (2014), Righi *et al.* (2015) e Aven (2015) têm trabalhos associados à Engenharia da Resiliência, onde pontuam os elementos necessários para aprimorar a resiliência dos sistemas e gerir os seus riscos. Todavia, não fornecem uma forma efetiva de execução.

O estudo de Johnson & Gheorghe (2013) apresentou os critérios analíticos associados à Antifragilidade. Ghasemi & Alizeradeh (2017) utilizaram alguns desses critérios e a Lógica Fuzzy para fornecer uma medida da Antifragilidade. A partir desta, era possível direcionar a gestão de risco da organização analisada. No entanto, o estudo restringia-se a uma única organização, e os dados utilizados eram extraídos de formulários respondidos pelos colaboradores. A adoção de tal método tornava a análise passiva de ruído e enviesamento, e dificultava a sua implantação na análise de várias instituições.

Visando criar um modelo mais prático e condizente com o cenário atual, mesclámos conceitos associados à complexidade e à gestão de risco já praticadas. Pontuando concepções associadas à Estigmergia e à Antifragilidade, mostrámos a importância dos mecanismos de auto-organização, aprendizagem e adaptação para o desenvolvimento dos sistemas.

Através da análise da nossa rede, e por meio da Teoria das Redes, vimos a importância das conexões para a avaliação dos agentes. Já o uso do *PageRank*, enquanto instrumento de medida da importância das instituições, e a escolha de acionistas e fundos mútuos, como elemento de ligação, permitiram um viés inédito de análise de redes interbancárias.

Através deste, pudemos perceber a importância de cada agente na rede, que deixou de estar associada a linhas e instrumentos de crédito, passando a relacionar-se com a existência de acionistas em comum e/ou com a sua posição acionária noutras instituições.

Pautando-nos pelos critérios analíticos da Antifragilidade, estipulámos variáveis úteis para a medida da Antifragilidade e, com a utilização da Lógica Fuzzy, desenvolvemos o Índice de Antifragilidade Bancária.

Sob o viés do IAB, analisámos as instituições escolhidas e pudemos perceber o quão importante para a evolução e aprimoramento da sua Antifragilidade é o investimento em tecnologia e educação. Tal se explica pelo facto de ser este investimento que impulsiona o desenvolvimento das suas capacidades estigmérgicas, e que permite partilhar conhecimento com os restantes agentes e evoluir perante a desordem e os cenários de crise.

Apesar de trazer novas percepções e fornecer informações fundamentais para o entendimento e eficaz gestão das organizações financeiras, o nosso trabalho ainda apresenta limitações, principalmente pela falta de dados associados a elementos mais dinâmicos das instituições.

Em trabalhos futuros, é válido que o fator tempo e outras características dos agentes e das suas relações sejam utilizadas para a estruturação e medição da rede.

Quanto ao aprimoramento do Índice de Antifragilidade Bancária, esperamos que as autoridades regulatórias e o próprio mercado estimulem a partilha de mais dados públicos, pois só assim poderemos agregar mais variáveis úteis ao modelo e torná-lo realmente dinâmico e condizente com o cenário real.

Por fim, desejamos que o nosso trabalho e os resultados aqui apresentados tenham servido de alerta para os problemas existentes na gestão de risco praticada no mercado financeiro, e que sirvam de estímulo e farol para o desenvolvimento de novas práticas e modelos.

5. Referências

- Adrian, T., & Brunnermeier, M. K. (2011). CoVaR. *National Bureau of Economic Research*, 1–44.
- Akgün, A. E., & Keskin, H. (2014). Organisational resilience capacity and firm product innovativeness and performance. *International Journal of Production Research*, 52(23), 6918–6937.
- Alcarva, P. (2011). *A Banca e as PME*. Vida Económica.
- Aldasoro, I., & Alves, I. (2018). Multiplex interbank networks and systemic importance: An application to European data. *Journal of Financial Stability*, 35(603), 17–37.
- Allen, F., & Gale, D. (2000). Financial contagion. *Journal of Political Economy*, 108(1), 1–33.
- Amaral, M. (2015). Tipos de riscos na actividade bancária. *Ordem Dos Revisores Oficiais de Contas*.
- Ameer, R. (2009). Value-relevance of foreign-exchange and interest-rate derivatives disclosure: The case of Malaysian firms. *The Journal of Risk Finance*, 10(1), 78–90.
- Amini, H., Cont, R., & Minca, A. (2016). Resilience to contagion in financial networks. *Mathematical Finance*, 26(2), 329–365.
- Anand, K., Brennan, S., Gai, P., Kapadia, S., & Willison, M. (2013). A Network Model of Financial System Resilience. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 85(1), 219–235.
- Anand, K., Craig, B., & von Peter, G. (2015). Filling in the blanks: network structure and interbank contagion. *Quantitative Finance*, 15(4), 625–636.
- Anand, K., Gai, P., & Marsili, M. (2012). Rollover risk, network structure and systemic financial crises. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(8), 1088–1100.
- Anand, K., van Lelyveld, I., Banai, Á., Friedrich, S., Garratt, R., Hałaj, G., ... de Souza, S. R. S. (2017). The missing links: A global study on uncovering financial network structures from partial data. *Journal of Financial Stability*, 35, 107–119.
- Anderson, B. D. O., & Vongpanitlerd, S. (2006). *Network analysis and synthesis: a modern systems theory approach*. Paperback.
- Anderson, P., Arrow, K., & Pines, D. (Eds.). (2018). *The Economy as an Evolving Complex System*. Taylor & Francis.
- Arena, M., Arnaboldi, M., & Azzone, G. (2010). The organizational dynamics of Enterprise Risk Management. *Accounting, Organizations and Society*, 35(7), 659–675.
- Arthur, B. W. (1999). Complexity and the Economy. *Science*, 284(April), 107–109.
- Arthur, W. B., Durlauf, S., & Lane, D. A. (1997). Introduction : Process and Emergence in the Economy. In W. B. Arthur, S. Durlauf, & D. A. Lane (Eds.), *The Economy as an Evolving Complex System II*.
- Aven, T. (2011). On Some Recent Definitions and Analysis Frameworks for Risk, Vulnerability, and Resilience. *Risk Analysis*, 31(4), 515–522.
- Aven, T. (2014). The Concept of Antifragility and its Implications for the Practice of Risk Analysis. *Risk Analysis*, (3).
- Aven, T. (2017). A Conceptual Foundation for Assessing and Managing Risk, Surprises and Black Swans . In G. Motet & C. Bieder (Eds.), *The Illusion of Risk Control: What Does it Take to Live With Uncertainty?* (pp. 23–39). Springer, Cham.
- Babus, A. (2016). The Formation of Financial Networks. *RAND Journal of Economics*, 47(2), 239–272.

- Baer, M., Cintra, M. A. M., Strachman, E., & Jr, T. (1995). Os desafios à reorganização de um padrão monetário internacional. *Eco.Unicamp.Br*, (1), 79–126.
- Bahadur, A. V., Ibrahim, M., & Tanner, T. (2010). *The resilience renaissance? Unpacking of resilience for tackling climate change and disasters* (Strengthening Climate Resilience Discussion No. 1). *Strengthening Climate Resilience Discussion Paper*. Brighton.
- Bakshy, E., Hofman, J., Mason, W., & Watts, D. (2011). Everyone's an influencer: quantifying influence on twitter. *Proceedings of the Fourth ACM International Conference on Web Search and Data Mining SE - WSDM '11*, 65–74.
- Barabási, A.-L. (2003). *Linked: The New Science of Networks*.
- Barabási, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(October), 509–513.
- Barabási, A.-L., & Bonabeau, E. (2003). Scale-Free Networks. *Scientific American*, (May), 60–69.
- Barabási, A. L. (2009). Scale-free networks: A decade and beyond. *Science*, 325(5939), 412–413.
- Bardoscia, M., Battiston, S., Caccioli, F., & Caldarelli, G. (2017). Pathways towards instability in financial networks. *Nature Communications*, 8, 1–7.
- Bargigli, L. (2014). Statistical Ensembles for Economic Networks. *Journal of Statistical Physics*, 155(4), 810–825.
- Battiston, S., Caldarelli, G., Georg, C. P., May, R., & Stiglitz, J. (2013). Complex derivatives. *Nature Physics*, 9(3), 123–125.
- Battiston, S., Caldarelli, G., May, R. M., Roukny, T., & Stiglitz, J. E. (2016). The price of complexity in financial networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(36), 10031–10036.
- Battiston, S., Delli, D., Gallegati, M., Greenwald, B., & Stiglitz, J. E. (2012). Liaisons dangereuses : Increasing connectivity , risk sharing , and systemic risk. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(8), 1121–1141.
- BCB. (2018). O Acordo da Basileia.
- BCBS. (2003). *Sound Practices for the Management and Supervision of Operational Risk*. Bank for International Settlements.
- BCBS. (2008). *Principles for Sound Liquidity Risk Management and Supervision*. Bank For International Settlements.
- BCBS. (2010). *Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems*. Bank for International Settlements.
- BCBS. (2018). *Global systemically important banks : assessment methodology and the additional loss absorbency requirement Rules text*. Bank for International Settlements.
- Beck, T. E., & Lengnick-Hall, C. A. (2016). Resilience Capacity and Strategic Agility: Prerequisites for Thriving in a Dynamic Environment. In *Engineering Perspectives* (Vol. 2, pp. 61–92). CRC Press.
- Beder, T. S. (1995). VAR: Seductive but Dangerous. *Financial Analysts Journal*, 51(5), 12–24.
- Benoit, S., Colletaz, G., Hurlin, C., & Perignon, C. (2013). A Theoretical and Empirical Comparison of Systemic Risk Measures.
- Berkowitz, J. (2000). Incorporating Liquidity Risk Into Value-at-Risk Models. *Journal of Derivatives*, 5(February), 32–44.

- Bessis, J. (2015). *Risk Management in Banking*. John Wiley & Sons.
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., & Pelizzon, L. (2010). *Econometric measures of systemic risk in the finance and insurance sectors* (No. 16223). *NBER Working Paper*. Cambridge, MA.
- BIS. (2002). *Risk Measurement and Systemic Risk*.
- Bisias, D., Flood, M. D., Lo, A. W., & Valavanis, S. (2012). A Survey of Systemic Risk Analytics. *The Annual Review of Financial Economics*, 4, 255–296.
- Black, L., Correa, R., Huang, X., & Zhou, H. (2016). *The systemic risk of European banks during the financial and sovereign debt crises*. *Journal of Banking and Finance* (Vol. 63). Elsevier B.V.
- Boccaletti, S., Bianconi, G., Criado, R., del Genio, C. I., Gómez-Gardeñes, J., Romance, M., ... Zanin, M. (2014). The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports*, 544(1), 1–122.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4–5), 175–308.
- Bonabeau, E., & Meyer, C. (2001). Swarm intelligence: A Whole New Way to Think About Business. *Harvard Business Review*, 79(5), 106–114.
- Borgatti, S. P., & Everett, M. G. (2006). A Graph-theoretic perspective on centrality. *Social Networks*, 28(4), 466–484.
- Borges, J. F. (2010). *Integração entre abordagens qualitativa e quantitativa para a mitigação do risco operacional: estudo no banco central do brasil*. Fundação Edson Queiroz - Universidade de Fortaleza.
- Boss, M., Elsinger, H., Summer, M., Thurner, S., Boss, M., Elsinger, H., ... Nationalbank, O. (2004). Network topology of the interbank market. *Quantitative Finance*, 4(6), 677–684.
- Bougheas, S., & Kirman, A. (2015). Complex Financial Networks and Systemic Risk: A Review. In P. Commendatore et al. (Ed.), *Complexity and Geographical Economics* (pp. 115–139). Switzerland: Springer International Publishing.
- Boyd, J. H., & Nicoló, G. De. (2005). The Theory of Bank Risk Taking and Competition Revisited. *Journal of Finance*, 60(3), 1329–1343.
- Boyer, R. (2007). Assessing the Impact of Fair Value Upon Financial Crises. *Social-Economic Review*, 5(October), 779–807.
- Boyer, R. (2013). The Global Financial Crisis in Historical Perspective: An Economic Analysis Combining Minsky, Hayek, Fisher, Keynes and the Regulation Approach. *Accounting, Economics and Law: A Convivium*, 3(3), 93–139.
- Braithwaite, J., Churrua, K., Long, J. C., Ellis, L. A., & Herkes, J. (2018). When complexity science meets implementation science: A theoretical and empirical analysis of systems change. *BMC Medicine*, 16(1), 1–14.
- Brin, S., & Page, L. (1998). The anatomy of a large scale hypertextual Web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30, 107–17.
- Brown, D. G., Rao, S., Weir, T. L., O'Malia, J., Bazan, M., Brown, R. J., & Ryan, E. P. (2016). Metabolomics and metabolic pathway networks from human colorectal cancers, adjacent mucosa, and stool. *Cancer & Metabolism*, 4(11), 1–12.
- Brownlees, C., & Engle, R. F. (2016). SRISK: A Conditional Capital Shortfall Measure of Systemic Risk. *RFS Advance Access*, (August).
- Buchanan, M., & Aldana-Gonzalez, M. (2003). Nexus: Small Worlds and the

- Groundbreaking Science of Networks. *Physics Today*, 56(3), 71–72.
- Byrne, D., & Callaghan, G. (2013). *Complexity Theory and the Social Sciences: The State of Art. Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction*. Routledge.
- Cabedo, J. D., & Moya, I. (2003). Estimating oil price “Value at Risk” using the historical simulation approach. *Energy Economics*, 25(3), 239–253.
- Caccioli, F., Shrestha, M., Moore, C., & Farmer, J. D. (2014). Stability analysis of financial contagion due to overlapping portfolios. *Journal of Banking and Finance*, 46(1), 233–245.
- Calomiris, C. W., & Carlson, M. (2017). Interbank networks in the National Banking Era: Their purpose and their role in the Panic of 1893. *Journal of Financial Economics*, 125(3), 434–453.
- Campbell, J. Y., Hilscher, J., & Szilagyi, J. (2008). In Search of Distress Risk. *The Journal of Finance*, LXIII(6), 2899–2939.
- Capelletto, L. R. (2006). *Mensuração do risco sistêmico no setor bancário com utilização de variáveis contábeis e econômicas*. Universidade de São Paulo.
- Capra, F. (2002). *As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Editora Cultrux.
- Carlisle, Y. M., & McMillan, E. (2017). Complex Adaptive Systems and Strategy as Learning. In S. E. Little et al. (Ed.), *Global Innovation and Entrepreneurship: Challenges and Experiences from East and West* (pp. 43–60). Milton Keynes, UK: The Open University.
- Carlson, M., & Mitchener, K. J. (2005). *Branch Banking, Bank Competition, and Financial Stability*. NBER Working Paper (Vol. 11291).
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765–781.
- Carvalho, F. J. (2005). *Inovação financeira e Regulação Prudencial: Da Regulação de Liquidez aos Acordos da Basileia*. São Paulo: Atlas.
- Castanheira, N., & Rodrigues, L. L. (2006). Gestão de risco - Da abordagem tradicional à gestão de risco empresarial (ERM). *Revisores & Empresas*, 58–61.
- Castells, M. (2011). A network theory of power. *International Journal of Communication*, 5(1), 773–787.
- Casti, J. L. (2012). *X-Events: The collapse of everything*. Harper Collins.
- Castrén, O., & Kavonius, I. K. (2009). *Balance Sheet Interlinkages and Macro-Financial Risk Analysis in the Euro Area* (Working Paper No. 1124). *Social Science Research* (Vol. 43).
- Castrén, O., & Rancan, M. (2013). *Macro-Networks: An Application to the Euro Area Financial Accounts* (Working Paper No. 1510).
- Cavalcanti de Almeida, A., Ferreira Frascaroli, B., & Regis da Cunha, D. (2012). Medidas de risco e matriz de contágio: uma aplicação do CoVaR para o mercado financeiro brasileiro. *Revista Brasileira de Finanças*, 10(4).
- Chan-Lau, J. A., Mitra, S., & Ong, L. L. (2007). *Contagion Risk in the International Banking System and Implications for London as a Global Financial Center* (IMF Working Paper).
- Chen, K., & Kenney, M. (2007). Universities/Research Institutes and Regional Innovation Systems: The Cases of Beijing and Shenzhen. *World Development*, 35(6), 1056–1074.

- Chiva, R., Ghauri, P., & Alegre, J. (2013). Organizational Learning, Innovation and Internationalization: A Complex System Model. *British Journal of Management*.
- Cohen-Cole, E., Patacchini, E., & Zenou, Y. (2012). Systemic Risk and Network Formation in the Interbank Market, *1*(301).
- Cont, R., Moussa, A., & Santos, E. B. (2013). Network Structure and Systemic Risk in Banking Systems. *Handbook on Systemic Risk*, 327–368.
- COSO. (2004). Enterprise Risk Management — Integrated Framework. *New York*, 3(September), 1–16.
- Coutinho, L., & Belluzzo, L. G. (1998). Financeirização da riqueza, inflação de ativos e decisões de gasto em economias abertas. *Economia e Soci*, 7(2).
- Cozzo, E., de Arruda, G. F., Rodrigues, F. A., & Moreno, Y. (2016). Multilayer networks: metrics and spectral properties. *Interconnected Networks*, 17–35.
- Crouhy, M., Galai, D., & Mark, R. (2000). A comparative analysis of current credit risk models. *Journal of Banking & Finance*, 24(1–2), 59–117.
- Dahlberg, R. (2015). Resilience and Complexity. *Journal of Current Cultural Research*, 7(April), 541–557.
- Dahlberg, R., Johannessen-Henry, C. T., Raju, E., & Tulsiani, S. (2015). Resilience in disaster research: three versions. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 32(April), 44–54.
- Damodaran, A. (2008). *Strategic Risk Taking: A Framework for Risk Management*. Pearson Prentice Hall.
- Danchin, A., Binder, P. M., & Noria, S. (2011). Antifragility and tinkering in biology (and in business) flexibility provides an efficient epigenetic way to manage risk. *Genes*, 2(4), 998–1016.
- Danielsson, J., James, K. R., Valenzuela, M., & Zer, I. (2016). Model risk of risk models. *Journal of Financial Stability*, 23, 79–91.
- Danielsson, J., & Zhou, C. (2015). *Why Risk Is So Hard to Measure* (No. 36). *SRC Discussion Paper*. London.
- Dathein, R. (2005). De Bretton Woods à Globalização Financeira: Evolução , Crise e Perspectivas do Sistema Monetário Internacional.
- De Domenico, M., Granell, C., Porter, M. A., & Arenas, A. (2016). The physics of spreading processes in multilayer networks. *Nature Physics*, 12(10), 901–906.
- De Domenico, M., Porter, M. A., & Arenas, A. (2015). MuxViz: A tool for multilayer analysis and visualization of networks. *Journal of Complex Networks*, 3(2), 159–176.
- De Domenico, M., Solé-Ribalta, A., Cozzo, E., Kivelä, M., Moreno, Y., Porter, M. A., ... Arenas, A. (2013). Mathematical formulation of multi-layer networks. *Physical Review X*, 3(4), 041022.
- De Florio, V. (2014). Antifragility = Elasticity + Resilience + Machine learning: Models and algorithms for open system fidelity. *Procedia Computer Science*, 32(Antifragile), 834–841.
- De Florio, V. (2015). On Resilient Behaviors in Computational Systems and Environments. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 1(1), 33–46.
- De Masi, G., Iori, G., & Caldarelli, G. (2006). Fitness model for the Italian interbank money market. *Physical Review E*, 74(6), 1–5.
- Degryse, H., Kim, M., & Ongena, S. (2009). *Microeconometrics of Banking: Methods, Applications, and Results*. Oxford University Press.

- Dekker, S., Cilliers, P., & Hofmeyr, J. H. (2011). The complexity of failure: Implications of complexity theory for safety investigations. *Safety Science*, 49(6), 939–945.
- Delpini, D., Battiston, S., Riccaboni, M., Gabbi, G., Pammolli, F., & Caldarelli, G. (2013). Evolution of Controllability in Interbank Networks. *Scientific Reports*, 3, 1–5.
- Diamond, J. M. (2005). *Twilight at Easter. Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*.
- Dorigo, M., Bonabeau, E., & Theraulaz, G. (2000). Ant algorithms and stigmergy. *Future Generation Computer Systems*, 16(8), 851–871.
- Eisenberg, L., & Noe, T. (2001). Systemic risk in financial systems. *Management Science*, 47(2), 236–249.
- Elliott, M., Golub, B., & Jackson, M. (2014). *Financial Networks and Contagion (January 2014)*. Available at SSRN 2175056 (Vol. 104).
- Ellis, B., & Herbert, S. I. (2011). Complex adaptive systems (CAS): An overview of key elements, characteristics and application to management theory. *Informatics in Primary Care*, 19(1), 33–37.
- Engle, R. F., & Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional autoregressive value at risk by regression quantiles. *Journal of Business and Economic Statistics*, 22(4), 367–381.
- Erdős, P., & Rényi, A. (1960). On the Evolution of Random Graphs. *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.*, 5(1), 17–60.
- Escobar, A. (2018). Culture, Economics, and Politics in Latin American Social Movements Theory and Research. In A. Escobar & S. E. Alvarez (Eds.), *The Making of Social Movements in Latin America: Identity, Strategy, and Democracy* (pp. 62–88). Routledge.
- Evans, B., & Reid, J. (2014). *Resilient Life : The Art of Living Dangerously*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Farrel, J., Hooper, K., Nardin, D., LoPiccolo, D. D., Hurson, J., Homme, N., & Boumann, C. (2009). *Placing a Value on Enterprise Risk Management*.
- Foley, D. K. (2003). Complexity , Self-organization, and Political Economy. In *Labor, capital, and land in the new economy* (pp. 1–31). London: Routledge.
- Folke, C., Colding, J, and Berkes, F. (2003). *Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social – ecological systems. Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change*.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267.
- Friedman, J. (2009). *A crisis of politics, not economics: Complexity, ignorance, and policy failure*. *Critical Review* (Vol. 21).
- Gai, P., Haldane, A., & Kapadia, S. (2011). Complexity, concentration and contagion. *Journal of Monetary Economics*, 58(5), 453–470.
- Gai, P., & Kapadia, S. (2010). Contagion in financial networks. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466(2120), 2401–2423.
- Galbiati, M., Delpini, D., & Battiston, S. (2013). The power to control. *Nature Physics*, 9(3), 126–128. <http://doi.org/10.1038/nphys2581>
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303.
- Gandy, A., & Veraart, L. A. M. (2016). A Bayesian Methodology for Systemic Risk Assessment in Financial Networks. *Management Science*, 1–20.

- Gell-Mann, M. (1994). Complex Adaptive Systems. In G. Cowan, D. Pines, & D. Meltzer (Eds.), *Complexity: Metaphors, Models, And Reality* (SFI Studie, Vol. XIX, pp. 17–45). Addison-Wesley.
- Georg, C. P. (2013). The effect of the interbank network structure on contagion and common shocks. *Journal of Banking and Finance*, 37(7), 2216–2228.
- Ghasemi, A., & Alizadeh, M. (2017). Evaluating Organizational Antifragility Via Fuzzy Logic - The case of an Iranian Company. *Operations Research and Decisions*, 27(2), 21–43.
- Giglio, S., Kelly, B., & Pruitt, S. (2016). Systemic risk and the macroeconomy: An empirical evaluation. *Journal of Financial Economics*, 119(3), 457–471.
- Gilbert, C., Powell, A., & Vines, D. (1999). Positioning the World Bank. *The Economic Journal*, 109(459), 598–633.
- Glasserman, P., & Young, H. P. (2015). How likely is contagion in financial networks? *Journal of Banking and Finance*, 50, 383–399.
- Goh, K., Cusick, M. E., Valle, D., Childs, B., Vidal, M., & Barabási, A.-L. (2007). The human disease network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21), 8685–8690.
- Goyal, S. (2006). *Connections: An Introduction to the Economics of Networks*. Princeton University Press.
- Grassé, P. P. (1959). La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. la th?orie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. *Insectes Sociaux*, 6(1), 41–80.
- Greenwood, R., Raynard, M., Kodeih, F., Micelotta, E. R., & Lounsbury, M. (2011). Institutional complexity and organizational responses. *The Academy of Management Annals*, 5(1), 317–371.
- Guleva, V. Y., Bochenina, K. O., Skvorcova, M. V., & Boukhanovsky, A. V. (2017). A Simulation Tool for Exploring the Evolution of Temporal Interbank Networks. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(4).
- Gunderson, L. H. (2001). *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island press.
- Haldane, A. G. (2009). Why Banks Failed the Stress Test. *BIS Review*, 18, 2009.
- Haldane, A. G. (2013). Rethinking the Financial network. In *Fragile stabilität-stabile fragilität* (pp. 243–278). Wiesbaden: Springer VS.
- Haldane, A. G., & May, R. M. (2011). Systemic risk in banking ecosystems. *Nature*, 469(7330), 351–355.
- Hatch, Mary Jo; Cunliffe, A. L. (2018). Organization Theory. Modern, Symbolic, and Postmodern Perspectives. *New York*, 351.
- Hausmann, R., Hidalgo, C., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jimenez, J., ... Yildirim, M. (2014). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*.
- Helbing, D. (2012). Systemic Risk in Society and Economics. In *Social Self-Organization* (pp. 261–284). Berlin: Springer-Verlag.
- Herbst, K. K., & Duarte, F. C. (2013). A nova regulação do sistema financeiro face à crise econômica mundial de 2008. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, 4(607), 16.
- Heylighen, F. (2015). Stigmergy as a Universal Coordination Mechanism: components, varieties and applications. In T. Lewis & L. Marsh (Eds.), *Human Stigmergy: Theoretical*

Developments and New Applications (pp. 1–43). Springer.

Heylighen, F., & Lenartowicz, M. (2017). The Global Brain as a model of the future information society: An introduction to the special issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 1–6.

Higgins, D., & Perera, T. (2016). Corporate Real Estate Black Swan Strategies: Beyond Probability and Resilience. *Corporate Real Estate Journal*, 5(3), 226–237.

Hole, K. J. (2016). *Anti-fragile ICT Systems*. Springer-Verlag GmbH.

Holland, J. H. (1995). *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. (Vol. 2). Paperback.

Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.

Holling, C. S. (1996). Engineering Resilience versus Ecological Resilience. In *Engineering within ecological constraints*.

Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4, 390–405.

Hollnagel, E. (2006). Resilience: The challenge of the unstable. In *Resilience engineering: Concepts and precepts* (Vol. 2006).

Hollnagel, E. (2011). Prologue: The Scope of Resilience Engineering. In E. Hollnagel, E. Pariès, J. Woods, & J. Wreathall (Eds.), *Resilience Engineering in Practice - A guidebook*.

Hollnagel, E., & Woods, D. D. (2006). Epilogue : Resilience Engineering Precepts.

Hovakimian, A., Kane, E. J., & Laeven, L. (2012). *Variation in Systemic Risk at US Banks During 1974-2010* (No. 18043). NBER Working Paper.

Huang, X., Zhou, H., & Zhu, H. (2012). Systemic Risk Contributions. *Journal of Financial Services Research*, 42(1–2), 55–83.

International Monetary Fund Staff. (2005). *Global Financial Stability Report September 2005: Market Developments and Issues*.

Iori, G., De Masi, G., Precup, O. V., Gabbi, G., & Caldarelli, G. (2008). A network analysis of the Italian overnight money market. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(1), 259–278.

Iori, G., & Mantegna, R. N. (2018). Empirical Analyses of Networks in Finance. In *Handbook of Computational Economics* (Vol. 4, pp. 637–685). Elsevier B.V.

Jackson, M. O., & Watts, A. (2002). The evolution of social and economic networks. *Journal of Economic Theory*, 106(2), 265–295.

Jeong, D., & Park, S. (2016). The More Connected, the Better?: Impact of connectedness on volatility and price discovery in the Korean financial sector. *Managerial Finance*.

Johnsen, S. (2010). Resilience in risk analysis and risk assessment. In *Critical Infrastructure Protection* (pp. 215–227).

Johnson, J., & Gheorghe, A. V. (2013). Antifragility analysis and measurement framework for systems of systems. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4), 159–168.

Johnson, N. F., Jeffries, P., & Hui, P. M. (2003). *Financial Market Complexity*.

Johnson, S. (2002). *Emergence: The Connected lives of ants, brains, cities, and software*. Simon and Schuster.

Jorion, P. (2007). *Financial Risk Manager Handbook*. John Wiley & Sons.

- Karadimas, A., Hewig, E., Behera, S., & Kotisi, T. (2014). A Case Study of Black Swans and Antifragility.
- Kato, R., Kobayashi, S., & Saita, Y. (2010). *Calibrating the Level of Capital: The Way We See It. Bank of Japan Working Paper Series.*
- Kaufman, G. G. (1994). Bank Contagion: A Review of the Theory and Evidence. *Journal of Financial Services Research*, 8(2), 123–150.
- Keeling, M. J., & Eames, K. T. D. (2005). Networks and epidemic models. *Journal of the Royal Society Interface*, 2(4), 295–307.
- Kennon, D., Schutte, C. S. L., & Lutters, E. (2015). An alternative view to assessing antifragility in an organisation: A case study in a manufacturing SME. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 64(1), 177–180.
- Kim, J., & Hastak, M. (2018). Social network analysis: Characteristics of online social networks after a disaster. *International Journal of Information Management*, 38(1), 86–96.
- Kivelä, M., Bathelemy, A., Gleeson, M., Moreno, J. P., & Porter, M. A. (2014). Multilayer Networks. *Journal of Complex Networks*, 2(3), 203–271.
- Kostova, T., & Zaheer, S. (1999). Organizational Legitimacy under Conditions of Complexity: The case of the multinational enterprise. *Academy of Management Review*, 24(1), 64–81.
- Kovalenko, T., & Sornette, D. (2016). *Risk and Resilience Management in Social-Economic Systems. Swiss Finance Institute.*
- Kramer, A. D. I., Guillory, J. E., & Hancock, J. T. (2014). Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(29), 10779–10779.
- Kumar, R., Novak, J., & Tomkins, A. (2010). Structure and Evolution of Online Social Networks. In *Link Mining: Models, Algorithms, and Applications* (pp. 337–357). New York: Springer Science+Business Media.
- Lai, F.-W., Azizan, N. A., & Samad, F. A. (2010). Shareholders Value Creation Through Enterprise Risk Management. *International Journal of Business Research*, 10(1).
- Lai, F.-W., & Samad, F. A. (2010). Enterprise Risk Management Framework and The Empirical Determinants of Its Implementation.
- Lam, J. (2000). Enterprise-wide risk management and the role of the chief risk officer. *ERisk.Com*, (March), 5.
- Langfield, S., Liu, Z., & Ota, T. (2014). Mapping the UK Interbank System. *Journal of Banking & Finance*, 45(1), 288–303.
- Lehar, A. (2005). Measuring systemic risk: A risk management approach. *Journal of Banking & Finance*, 29(10), 2577–2603.
- Lengnick-Hall, C. A., & Beck, T. E. (2005). Adaptive fit versus robust transformation: How organizations respond to environmental change. *Journal of Management*, 31(5), 738–757.
- Lenzu, S., & Tedeschi, G. (2012). Systemic risk on different interbank network topologies. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 391(18), 4331–4341.
- Levy, Y., & Ellis, T. J. (2006). A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. *Informing Science*, 9, 181–211.
- Liebenberg, A. P., & Hoyt, R. E. (2003). The Determinants of Enterprise Risk Management : Evidence From the Appointment of Chief Risk Officers. *Risk Management*

and Insurance Review, 6(1), 37–52.

Litvinov, E., Zhao, F., & Zheng, T. (2018). How to Manage the Complexity of the Grid? In *Energy Markets and Responsive Grids* (pp. 1–27). New York.

Luhman, N. (2013). *Introduction to Systems Theory*. Cambridge: Polity.

Luthar, S. S., Cicchetti, D., & Becker, B. (2000). The Construct of Resilience: A Critical Evaluation and Guidelines for Future Work. *Child Development*, 71(3), 543–562.

Lux, T., & Westerhoff, F. (2009). Economics crisis. *Nature Physics*, 5(1), 2–3.

MacLean, D., & MacIntosh, R. (2011). Organizing at the edge of chaos: Insights from action research. *The SAGE Handbook of Complexity and Management*, (January), 235–253.

Mandelbrot, B. B., & Hudson, R. L. (2008). *The Misbehaviour of Markets: A Fractal View of financial turbulence*. Basic Books.

Marconi, M., & Lakatos, E. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. Editora Atlas S. A.

Marculescu, R., & Bogdan, P. (2007). The Chip is the Network: Toward a Science of Network-on-Chip Design. *Foundations and Trends® in Electronic Design Automation*, 2(4), 371–461.

Marsh, L., & Onof, C. (2008). Stigmergic epistemology, stigmergic cognition. *Cognitive Systems Research*, 9(1–2), 136–149.

Martínez-Jaramillo, S., Pérez, O. P., Embriz, F. A., & Dey, F. L. G. (2010). Systemic risk, financial contagion and financial fragility. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(11), 2358–2374.

Maturana, H., & Varela, F. (1995). *A Árvore do Conhecimento*. Campinas: Psy.

May, R. M., Levin, S. A., & Sugihara, G. (2008). Complex systems: Ecology for bankers. *Nature*, 451(7181), 893–895.

McDaniel, R. R., & Driebe, D. J. (2015). Complexity Science and Health Care Management. In *Advances in Health Care Management* (pp. 117–156).

Meulbroek, L. K. (2002). *Integrated Risk Management for the Firm: A Senior Manager's Guide*.

Miller, P. (1990). On the interrelations between accounting and the state. *Accounting, Organizations and Society*, 15(4), 315–338.

Mistrulli, P. E. (2011). Assessing financial contagion in the interbank market: Maximum entropy versus observed interbank lending patterns. *Journal of Banking and Finance*, 35(5), 1114–1127.

Mitchell, T., & Harris, K. (2012). *Resilience: A Risk management approach* (Background Note).

Montagna, M., & Lux, T. (2013). *Hubs and resilience: Towards more realistic models of the interbank markets* (No. 1826).

Moore, C., & Newman, M. E. J. (2000). Epidemics and percolation in small-world networks. *Physical Review E*, 61(5), 5678–5682.

Morin, E. (2005). *Ciência com Consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Morin, E. (2007). *Introdução ao pensamento complexo* (3rd ed.). Porto Alegre: Sulina.

Morin, E. (2011). La vía para el futuro de la humanidad. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas: Crítica de Libros*, 140, 181–208.

Morin, E., & Le Moigne, J.-L. (2000). *Inteligência da Complexidade*.

- Morris, S., & Shin, H. S. (2009). Financial Regulation in a System Context. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2008(2), 229–274.
- Moses, J. (2010). Flexibility and its relation to complexity and architecture. In *Proceedings of the 1st International Conference on Complex Systems Design and Management, CSDM 2010* (pp. 197–206). Berlin: Springer.
- Müller, J. (2006). Interbank credit lines as a channel of contagion. *Journal of Financial Services Research*, 29(1), 37–60.
- Neves, P. D. (2010). Crise financeira internacional - Impactos e Desafios. In *VIII Fórum Banca e Mercado de Capitais*.
- Newman, M. E. J. (2018). *Networks*. Oxford University Press.
- Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T., & Alentorn, A. (2007). Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 31, 2033–2060.
- Noran, O. (2014). Collaborative disaster management: An interdisciplinary approach. *Computers in Industry*, 65(6), 1032–1040.
- O'Hara, M., & Shaw, W. (1990). Deposit Insurance and Wealth Effects: The Value of Being “Too Big to Fail.” *Journal of Finance*, 45(5), 1587–1600.
- O'Neill, J. (2001). Building Better Global Economic BRICs. *Global Economics Paper*, November(66), 1–16.
- Obrist, B., Pfeiffer, C., & Henley, R. (2010). Multi-layered social resilience: a new approach in mitigation research. *Progress in Development Studies*, 10(4), 283–293.
- Olson, D., & Wu, D. (Eds.). (2008). *New Frontiers in Enterprise Risk Management*. Springer Science & Business Media.
- Olsson, P., Folke, C., & Berkes, F. (2004). Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems. *Environmental Management*, 34(1), 75–90.
- Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 121, 43–60.
- Pagano, M. S., & Sedunov, J. (2016). *A comprehensive approach to measuring the relation between systemic risk exposure and sovereign debt*. *Journal of Financial Stability* (Vol. 23). Elsevier B.V.
- Paltalidis, N., Gounopoulos, D., Kizys, R., & Koutelidakis, Y. (2015). Transmission channels of systemic risk and contagion in the European financial network. *Journal of Banking and Finance*, 61(1).
- Panteli, M., & Mancarella, P. (2015). The Grid: Stronger, Bigger, Smarter? *IEEE Power & Energy Magazine*, (june), 58–66.
- Parker, D., & Stacey, R. (1995). *Caos, Administração e Economia: As implicações do Pensamento Não Linear*. Rio de Janeiro: Instituto Liberal.
- Parunak, H. V. D. (2005). A Survey of Environments and Mechanisms for Human-Human Stigmergy. In *International workshop on environments for multi-agent systems* (pp. 163–186). Berlin: Springer.
- Pascale, R. T. (1999). Surfing the Edge of Chaos. *Sloan Management Review*, 40(3), 83–94.
- Passos, D. S. (2017). *Organizações na Era Pós-Industrial : a Complexidade, as Fintechs e os Bancos*. ISCTE.
- Pauwelyn, J. (2014). At the Edge of Chaos? Foreign Investment Law as A Complex Adaptive System, How It Emerged And How It Can Be Reformed. *ICSID Review*, 29(2), 372–418.

- Peleias, I. R., Macedo da Silva, A. J., Do Couto Guimarães, I. O., De Souza Machado, L., & Bosco Segreti, J. (2007). Demonstrações Contábeis De Bancos Brasileiros : Análise Da Evidenciação Oferecida À Luz Do Gerenciamento De Riscos. *Revista Base (Administração e Contabilidade)*, 4(1), 22–36.
- Pentland, A. (2014). Social Physics - How good ideas spread, the lessons from a new science, 300.
- Perrow, C. (1999). Organizing to reduce the vulnerabilities of complexity. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 7(3), 150–155.
- Persaud, A. D. (2012). What Would a Systemically Resilient Financial System Look Like?
- Poledna, S., Molina-Borboa, J. L., Martínez-Jaramillo, S., van der Leij, M., & Thurner, S. (2015). The multi-layer network nature of systemic risk and its implications for the costs of financial crises. *Journal of Financial Stability*, 20, 70–81.
- Rafi, U., Mirakhor, A., & Askari, H. (2016). Radical uncertainty , non-predictability , antifragility and risk-sharing Islamic finance. *PSL Quartely Review*, 69(278), 337–372.
- Rahman, M. M., Zheng, C., & Ashraf, B. N. (2015). Bank Size, Risk-taking and Capital Regulation in Bangladesh. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 8(15), 95–114.
- Rechtin, E., & Maier, M. W. (2010). *The art of systems architecting*. CRC Press.
- Richardson, K. A. (2008). Managing Complex Organizations: Complexity Thinking and the Science and Art of Management. *E:CO Emergence: Complexity and Organization*, 10(2), 13–26.
- Righi, A. W., Saurin, T. A., & Wachs, P. (2015). *A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal*. *Reliability Engineering and System Safety* (Vol. 141). Elsevier.
- Roukny, T., Bersini, H., Pirote, H., Caldarelli, G., & Battiston, S. (2013). Default cascades in complex networks: Topology and systemic risk. *Scientific Reports*, 3(2759).
- Rutter, M. (1985). Resilience in the face of adversity: Protective factors and resistance to psychiatric disorder. *British Journal of Psychiatry*, 147(December), 598–611.
- Saddi, J. (2001). *Crise e Regulação bancária: navegando mares revoltos*. Textonovo.
- Schwarcz, S. L. (2008). Systemic Risk. *Geo*, 97, 193.
- Schweitzer, F., Fagiolo, G., Sornette, D., Vega-Redondo, F., Vespignani, A., & White, D. (2009). Economic Networks : The New Challenges. *Science*, (July), 422–426.
- Securato, J. R. (1996). *Decisões financeiras em condições de risco*.
- Sedunov, J. (2016). What is the systemic risk exposure of financial institutions? *Journal of Financial Stability*, 24, 71–87.
- Senge, P. M. (1991). The Fifth Discipline, The Art And Practice of The Learning Organization. *Performance & Instruction*, (May/June).
- Shaw, J. (1995). A schema approach to the formal literature review in engineering theses. *System*, 23(3), 325–335.
- Siemens, G. (2014). Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 1, 1–8.
- Silva, I. F. (2007). *O Acordo de Basileia II e o impacto na gestão de riscos da banca e no financiamento das empresas*.
- Simkins, B., & Ramirez, S. A. (2007). Enterprise-Wide Risk Managemnet and Corporate Governance. *Loy. U. Chi.*, 39(571).

- Solomon, J. F., Solomon, A., Norton, S. D., & Joseph, N. L. (2000). A conceptual framework for corporate risk disclosure emerging from the agenda for corporate governance reform. *British Accounting Review*, 32(4), 447–478.
- Song, F., & Thakor, A. V. (2010). Financial System Architecture and the Co-Evolution of Banks and Capital Markets. *The Economic Journal*, 120(547), 1021–1055.
- Soramäki, K., Bech, M. L., Arnold, J., Glass, R. J., & Beyeler, W. E. (2007). The topology of interbank payment flows. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 379(1), 317–333.
- Steen, R., & Aven, T. (2011). A risk perspective suitable for resilience engineering. *Safety Science*, 49(2), 292–297.
- Stulz, R. M. (1996). Rethinking Risk Management. *Journal of Applied Corporate Finance*, 9(3), 8–25.
- Tabak, B., Takami, M., Rocha, J., Cajueiro, D. O., & Souza, S. R. S. (2014). Directed clustering coefficient as a measure of systemic risk in complex banking networks ☆. *Physica A*, 394, 211–216.
- Taleb, N. N. (2010). *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. Hardcover.
- Taleb, N. N. (2011). A Map and Simple Heuristic to Detect Fragility, Antifragility, and Model Error. *SSRN Electronic Journal*, 1–15.
- Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House Incorporated.
- Taleb, N. N., & Douady, R. (2013). Mathematical definition, mapping, and detection of (anti)fragility. *Quantitative Finance*, 13(11), 1677–1689.
- Tang, J., Qu, M., Wang, M., Zhang, M., Yan, J., & Mei, Q. (2015). LINE : Large-scale Information Network Embedding. In *ACM World Wide Web* (pp. 1067–1077). Florence.
- Thietart, R.-A., & Forgues, B. (2011). Complexity science and organization. In *The SAGE Handbook of Complexity and Management* (pp. 53–64).
- Thrift, N., & Amin, A. (2017). Neo-Marshallian Nodes in Global Networks. *Economy*, 159–175.
- Travers, J., & Milgram, S. (1969). An Experimental Study of the Small World Problem, 32(4), 425–443.
- Triana, P. (2009). *Lecturing Birds on Flying: Can Mathematical Theories Destroy the Financial Markets?* John Wiley.
- Upper, C. (2011). Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets. *Journal of Financial Stability*, 7(3), 111–125.
- Varotto, S., & Zhao, L. (2018). Systemic risk and Bank Size. *Journal of International Money and Finance*, 82, 45–70.
- Verhulsta, E. (2014). Applying systems and safety engineering principles for antifragility. *Procedia Computer Science*, 32(Antifragile), 842–849.
- Vieira, F. V., & Veríssimo, M. P. (2009). Crescimento Econômico em Economias Emergentes Seleccionadas. Brasil, Rússia, Índia, China (BRIC) e África do Sul. *Economia e Sociedade*, 18(3(37)), 513–546.
- Vitali, S., Glattfelder, J. B., & Battiston, S. (2011). The network of global corporate control. *PloS One*, 6(10), e25995.
- Waddock, S., Meszoely, G. M., Wadell, S., & Dentoni, D. (2015). The complexity of wicked problems in large scale change. *Journal of Organizational Change Management*, 28(6).

- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social – ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2).
- Walker, J., & Cooper, M. (2011). Genealogies of resilience: From systems ecology to the political economy of crisis adaptation. *Security Dialogue*, 42(2), 143–160.
- Watts, D. J. (1999). Networks, dynamics, and the small-world phenomenon. *American Journal of Sociology*, 105(2), 493–527.
- Watts, D. J. (2004). The new Science of Networks. *Annual Review of Sociology*, 30(2004), 243–270.
- Watts, D. J., & Dodds, P. S. (2007). Influentials, Networks, and Public Opinion Formation. *Journal of Consumer Research*, 34(4), 441–458.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440–442.
- Welsh, M. (2014). Resilience and responsibility: Governing uncertainty in a complex world. *The Geographical Journal*, 180(1), 15–26.
- Woods, D. D. (2015). Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. *Reliability Engineering and System Safety*, 141, 5–9.
- Yates, F. E. (2012). *Self-Organizing Systems: The Emergence of Order*. Springer Science & Business Media.
- Zhou, C. (2010). Are banks too big to fail? Measuring systemic importance of financial institutions. *International Journal of Central Banking*, 6(4), 205–250.
- Zhou, X., Menche, J., Barabási, A. L., & Sharma, A. (2014). Human symptoms-disease network. *Nature Communications*, 5(May).
- Zimmerman, B., Lindberg, C., & Plsek, P. (1998). *Edgework: Lessons From Complexity Science for Health Care Leaders*. Dallas, TX: VHA Inc.

6. Apêndices

A.1) Rede Interbancária – Acionistas existentes

Acionistas	Bancos												
	HSBC	UBS	Goldman Sachs	Bank of America	Citigroup	Credit Suisse	JPMorgan	Morgan Stanley	The Royal Bank of Scotland	Barclays	Wells Fargo	Santander	Deutsche Bank
Berkshire Hathaway			x								x		
Vanguard Group		x	x	x	x		x	x			x		x
Blackrock Inc.			x	x	x		x	x			x		
State Street Co.			x	x	x		x	x			x		
Capital World Investors			x				x				x		x
FMR, LLC	x		x	x	x		x	x			x		
Price (T.Rowe) Assoc. Inc					x		x	x		x	x		
Dodge & Cox Inc		x	x	x							x		
JP Morgan Chase & Cia				x	x			x		x	x		
Northern Trust Co.	x			x			x		x	x	x	x	
UBS Group AG		x				x							
Norges Bank Investment Manag.		x		x								x	x
Wellington Management Cia., LLP		x		x	x		x						x
Credit Suisse		x											
Capital Research Global Investors		x	x										
Franklin Resource, Inc		x											
Schroder Investment Management Group		x											
Fisher Asset Management, LLC	x									x		x	
Dimensional Fund Advisors LP	x								x	x		x	
Cambiar Investors, LLC	x												
Royal Bank of Canada	x												
Schafer Cullen Capital Management, LLC	x												
Bank of America Co.	x		x			x	x		x				
Matthews International Capital Manag, LLC	x												
Harding Loevner LLC	x												
Macquarie Group Limited												x	
Parametric Portfolio Associates									x	x		x	
Arrowsstreet Capital, Limited Partnership										x		x	
Goldman Sachs Group, Inc.									x			x	x
Masters Capital Management, LLC						x						x	
Aperio Group LLC									x			x	
Bank of New York Mellon Co.					x				x				
NWQ Investment Mangement Cia., LLC									x				
LMR Partners LLP									x				
Mitsubishi UFJ Financial Group, Inc								x					
Invesco Ltd.					x			x					
Ameriprise Financial, Inc.								x					
ValueAct Holdings, L.P.								x					
Massachusetts Financial Services Co.		x	x				x						
Earnest Partners LLC						x							

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Acionistas	Bancos													
	HSBC	UBS	Goldman Sachs	Bank of America	Citigroup	Credit Suisse	JPMorgan	Morgan Stanley	The Royal Bank of Scotland	Barclays	Wells Fargo	Santander	Deutsche Bank	
Brandes Investment Partners L.P.						x				x				
Morgan Stanley						x								
Allianz Asset Management AG						x								
SEI Investments Co						x								
Renaissance Technologies, LLC						x								
Two Sigma Investments, LP						x								
Harris Associates L.P.					x									
Jane Street Group, LLC									x	x				
Causeway Capital Management LLC										x				
Geode Capital Management, LLC				x										
Deutsche Bank Aktiengesellschaft													x	
DekaBank Deutsche Girozentrale													x	
Credit Agricole S.A.													x	
HSBC Holding Pic													x	
Commerbank Aktiengesellschaft													x	
Cullen Capital Management														
Aristotle Capital Management														
Hearthbridge Capital Management														
Crossmark Global Holding														
U.S. Bancorp (Minnesota)														
World Asset Mangement														
Wells Fargo & Company														
Lazard Asset Management														
Capital International Investors														
Triam Fund Management														
First Eagle Investment Management														
Longview Partners														
Bank of Montreal/Can/														
TD Asset Management														
CIBC World Markets														
I.g. Investment Management														
Beutel, Goodman & Cia														
Jarislowsky, Fraser Ltd														
Connor Clark & Lunn Investment Management														
Hexavest Inc.														
Westwood Global Investment														
Baillie Gifford and Cia.														
Standard Life Aberdeen														
Sprucegrove Investment Management														
Lsv Asset Management														
Raymond James & Associates														
Todd Asset Management														

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Acionistas	Bancos													
	BNP Paribas S.A.	Mitsubishi UFJ FG	Mizuho FG	ING Groep	Sumitomo Mitsui FG	BBVA	The Bank of NY Mellon	State Street	Royal Bank of Canada	Commonwealth Bank of Australia	Itau Unibanco	Bradesco	Banco do Brasil	Westpac Banking
Berkshire Hathaway							x							
Vanguard Group							x	x	x		x	x		
Blackrock Inc.						x	x	x			x	x		
State Street Co.							x	x						
Capital World Investors								x			x			
FMR, LLC								x	x		x			
Price (T.Rowe) Assoc. Inc							x	x						
Dodge & Cox Inc							x							
JP Morgan Chase & Cia				x							x			
Northern Trust Co.		x	x		x	x								x
UBS Group AG														
Norges Bank Investment Manag.														
Wellington Management Cia., LLP														
Credit Suisse														
Capital Research Global Investors														
Franklin Resource, Inc												x		
Schroder Investment Management Group											x	x		
Fisher Asset Management, LLC		x		x	x	x					x	x		
Dimensional Fund Advisors LP		x	x	x										
Cambiar Investors, LLC					x	x								
Royal Bank of Canada			x	x					x					x
Schafer Cullen Capital Management, LLC				x										
Bank of America Co.		x		x	x	x								x
Matthews International Capital Manag, LLC														
Harding Loevner LLC							x				x	x		
Macquarie Group Limited														
Parametric Portfolio Associates		x	x	x	x	x							x	x
Arrowstreet Capital, Limited Partnership														
Goldman Sachs Group, Inc.		x	x											x
Masters Capital Management, LLC														
Aperio Group LLC		x	x		x									x
Bank of New York Mellon Co.														
NWQ Investment Mangement Cia., LLC				x										
LMR Partners LLP														
Mitsubishi UFJ Financial Group, Inc														
Invesco Ltd.								x				x		x
Ameriprise Financial, Inc.														
ValueAct Holdings, L.P.														
Massachusetts Financial Services Co.							x	x						
Earnest Partners LLC														

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Acionistas	Bancos													
	BNP Paribas S.A.	Mitsubishi UFJ FG	Mizuho FG	ING Groep	Sumitomo Mitsui FG	BBVA	The Bank of NY Mellon	State Street	Royal Bank of Canada	Commonwealth Bank of Australia	Itau Unibanco	Bradesco	Banco do Brasil	Westpac Banking
Brandes Investment Partners L.P.		x												
Morgan Stanley					x									
Allianz Asset Management AG														
SEI Investments Co														
Renaissance Technologies, LLC			x											x
Two Sigme Investments, LP														
Harris Associates L.P.								x						
Jane Street Group, LLC														
Causeway Capital Management LLC														
Geode Capital Management, LLC														
Deutsche Bank Aktiengesellschaft														
DekaBank Deutsche Girozentrale														
Credit Agricole S.A.														
HSBC Holding Pic														
Commerbank Aktiengesellschaft														
Cullen Capital Management	x													
Aristotle Capital Management		x				x								
Hearthbridge Capital Management		x				x								
Crossmark Global Holding			x											
U.S. Bancorp (Minnesota)			x											
World Asset Mangement			x										x	
Wells Fargo & Company				x	x	x								
Lazard Asset Management					x									
Capital International Investors							x							
Triam Fund Management							x							
First Eagle Investment Management							x							
Longview Partners								x						
Bank of Montreal/Can/									x					
TD Asset Management									x					
CIBC World Markets									x					
I.g. Investment Management									x					
Beutel, Goodman & Cia									x					
Jarislowsky, Fraser Ltd									x					
Connor Clark & Lunn Investment Management									x					
Hexavest Inc.										x				
Westwood Global Investment											x			
Baillie Gifford and Cia.											x	x		
Standard Life Aberdeen												x		
Sprucegrove Investment Management												x		
Lsv Asset Management													x	
Raymond James & Associates														x
Todd Asset Management														x

A.2) Rede Interbancária – Fundos Mútuos existentes

Mutual Funds	Bancos																							
	HSBC	UBS	Goldman Sachs	Bank of America	Citigroup	Credit Suisse	JPMorgan	Morgan Stanley	The Royal Bank of Scotland	Barclays	Wells Fargo	Santander	Deutsche Bank	Credit Agricole	BNP Paribas S.A.	Mitsubishi UFJ FG	Bank of China	Mizuho FG	Societe Generale	ING Groep	Sumitomo Mitsui FG	Unicredit	Nordea	
Fidelity Series International Value	x	x																						x
DFA International Value	x								x	x		x	x				x				x			
DFA International Core Equity	x								x	x		x					x				x			
Advisors Inner Circle Fund-Cambiar	x																							
DFA Tax Managed International	x								x	x							x							
Investment Company of America	x																			x				
Columbia Fds Var Ser Tr II Var Port-DFA	x								x															
Matthews Asia Funds-Matthews Asian Growth & Income	x																							
Matthews Asia Funds-Matthews Asia Dividend	x																							
Cullen High Dividend Equity	x																							
Dodge & Cox International Stock			x													x				x				x
Capital World Growth and Income			x																	x				
Vanguard International Stock Index			x											x	x	x		x		x				x
Artisan International Value			x																		x			
Harbor International			x																					
Thomburg Investment Income Builder			x																					
iShares MSCI EAFE ETF			x											x	x	x				x				x
MFS Series Trust X-MFS International Value			x																					
Vanguard Tax Managed Fund			x											x	x	x								x
Dodge & Cox Stock Fund			x	x																				
Vanguard Total Stock Market Index			x	x	x			x	x															
Vanguard 500 Index			x	x	x			x	x															
SPDR Dow Jones Industrial Average			x																					
Growth Fund of America			x																					
MFS Series Trust I-MFS Value			x																					
SPDR S&P 500 ETF			x	x	x			x	x															
Vanguard Institutional Index			x	x	x			x	x															
Select Sector SPDR			x	x	x			x	x															
Vanguard/Wellington Fund			x	x				x																
Fidelity 500 Index			x	x	x			x																
iShares Core S&P 500 ETF			x	x	x			x																
Vanguard/Windsor II			x	x																				
Vanguard Index				x																				
Fidelity Contrafund					x				x															
SEI Institutional Investment Tr-World Equity Ex-U.S.						x																		
Toqueville International Value						x																		
Eaton Vance Tax-Managed						x															x			
Eaton Vance NextShares Tr-Stock						x																		
Eaton Vance Stock						x																		
Eaton Vance Tax-Advantaged Global Dividend						x																		
Litman Gregory Masters Alternative Strategies						x																		
Calvert Social Investment Fund- Balanced						x																		
Washington Mutual Investors							x																	
Price (T.Rowe) Growth Stock								x																
Price (T.Rowe) Value									x															
Price (T.Rowe) Equity Income										x														
Price (T.Rowe) Blue Chip Growth											x													
DFA Large Cap International										x	x						x							
Nationwide Var Ins Tr-NVTI Multi-Management										x	x													
DFA Investment Dimensions-World Ex U.S. Core Equity										x	x													
SA Funds Inv Tr-Sa International Value										x	x													
DFAT.A. World Ex U.S. Core Equity										x														
DFA Investment Dimensions-DFA International Social Core Equity										x														
Price (T.Rowe) Overseas Stock											x													x
Price (T.Rowe) International Core Equity Trust											x													
Advanced Series Tr-AST/T.R. Price Asset Allocation											x													
Income Fund of America												x												x
Fundamental Investors												x												

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Mutual Funds	Bancos														Nordea									
	HSBC	UBS	Goldman Sachs	Bank of America	Citigroup	Credit Suisse	JPMorgan	Morgan Stanley	The Royal Bank of Scotland	Barclays	Wells Fargo	Santander	Deutsche Bank	Credit Agricole		BNP Paribas S.A.	Mitsubishi UFJ FG	Bank of China	Mizuho FG	Societe Generale	ING Groep	Sumitomo Mitsui FG	Unicredit	
American Balanced											x													
Nationwide International Value Series												x												
Vanguard European Stock												x	x	x										
Schwab Capital Trust-Schwab Fundamental Int'l Large Co Index												x												
Voya Variable Euro Stoxx 50 Index												x												
Russell Inv Co-International Developed Markets												x												
Voya Variable International Index												x												
Russell Inv Co-Select International Equity												x												
Vanguard Intl Equity Index - Total World Stock												x												
Europacific Growth													x		x				x				x	
Thomburg International Value												x											x	
iShares MSCI Germany ETF												x												
iShares MSCI Eurozone ETF												x	x											
iShares Core MSCI Eafe ETF												x	x											x
Templeton Growth														x										
Janus Henderson International Opportunities															x									
College Retirement Equities															x			x						
Northwestern Mutual-International Equity																x								
Capital Income Builder																	x		x					
New Perspective																x			x					
Fidelity Strategic Advisers Value																	x							
Harbor Large Cap Value																		x						
Glenmede Fund-International																			x					
Liberty All-Star Equity																			x					
JP Morgan International Equity Income																				x				
Vanguard International Stock Index - Emerging																								x
iShares MSCI Emerging																								x
DFA Investment Dimensions Emerging																								x
iShares Core MSCI Emerging																								x
iShares China 25 Large																								x
DFA Emerging Markets Core Equity																								x
Steward Fds-Global Equity																								x
Virtus Equity Tr-Strategic Allocation																								x
Timothy Plan International																								x
Steward Fds-International Enhanced																								x
PowerShares Exhg Traded Fd-Pwrshs BLDRS Developed Mkts																								x
Virtus Equity Tr-Strategic Tactical Allocation																								x
PowerShares Exhg Traded Fd-Pwrshs BLDRS Asia 50																								x
Praxis International Index																								x
Franklin Mutual Series Global Discovery																								x
Templeton Institutional International Equity																								x
Templeton Global Balanced																								x
Sunamerica International Growth&Income																								x
Putnam International Equity																								x
Sunamerica Trust-Foreign Value																								x
Schwab Capital Trust-Schwab International Equity																								x
BNY-Mellon International Appreciation Fund																								x
American Pension Inv Tr-Yorktown Capital Income																								x
Johnson Mutual Funds Trust-International																								x
Glenmede Fund-International Secured Options																								x
Causeway International Value Fund																								x
TIAA-CREF Funds-International Value Fund																								x
New World Fund																								x
American Insurance Ser-International																								x
Price T Rowe International Value Equity																								x
Fidelity Diversified International																								x
Fidelity Overseas																								x
Lazard International Equity																								x

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Mutual Funds	Bancos																		
	BBVA	Standard Chartered	The Bank of New Mellon	State Street	China Construction Bank Co.	Agricultura Bank of China	Bank of Communications	China Merchants	Royal Bank of Canada	Commonwealth Bank of Australia	Itau Unibanco	Industrial and Commercial Bank of	Lloyds Banking Group	CITIC	Commerzbank AG	Intesa Sanpaolo	Bradesco	Banco do Brasil	Westpac Banking
Fidelity Series International Value		x														x			
DFA International Value																			
DFA International Core Equity	x																		x
Advisors Inner Circle Fund-Cambiar	x																		
DFA Tax Managed International																			
Investment Company of America																			
Columbia Fds Var Ser Tr II Var Port-DFA																			
Matthews Asia Funds: Matthews Asian Growth & Income																			
Matthews Asia Funds: Matthews Asia Dividend																			
Cullen High Dividend Equity																			
Dodge & Cox International Stock		x											x						
Capital World Growth and Income									x				x			x			
Vanguard International Stock Index		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Artisan International Value													x			x			
Harbor International	x	x											x						
Thomburg Investment Income Builder																			
iShares MSCI Eafe ETF		x								x				x		x			
MFS Series Trust X-MFS International Value																			
Vanguard Tax Managed Fund		x							x	x			x			x			
Dodge & Cox Stock Fund			x																
Vanguard Total Stock Market Index			x	x															
Vanguard 500 Index			x	x															
SPDR Dow Jones Industrial Average Growth Fund of America									x										
MFS Series Trust I-MFS Value			x	x															
SPDR S&P 500 ETF			x	x															
Vanguard Institutional Index			x	x															
Select Sector SPDR				x															
Vanguard/Wellington Fund																			
Fidelity 500 Index																			
iShares Core S&P 500 ETF																			
Vanguard/Windsor II Vanguard Index																			
Fidelity Contrafund																			
SEI Institutional Investment Tr-World Equity Ex-U.S.																			
Toqueville International Value																			
Eaton Vance Tax-Managed																			
Eaton Vance NextShares Tr-Stock																			
Eaton Vance Stock																			
Eaton Vance Tax-Advantaged Global Dividend																			
Litman Gregory Masters Alternative Strategies																			
Calvert Social Investment Fund-Balanced																			
Washington Mutual Investors																			
Price (T.Rowe) Growth Stock				x															
Price (T.Rowe) Value				x															
Price (T.Rowe) Equity Income				x															
Price (T.Rowe) Blue Chip Growth				x															
DFA Large Cap International																			x
Nationwide Var Ins Tr-NVIT Multi-Management																			
DFA Investment Dimensions-World Ex U.S. Core Equity																			
SA Funds Inv Tr-Sa International Value																			
DFA T.A. World Ex U.S. Core Equity																			
DFA Investment Dimensions-DFA International Social Core Equity																			
Price (T.Rowe) Overseas Stock															x				
Price (T.Rowe) International Core Equity Trust																			
Advanced Series Tr-AST/7.R. Price Asset Allocation																			
Income Fund of America																			
Fundamental Investors											x								

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Mutual Funds	Bancos																		
	BBVA	Standard Chartered	The Bank of New Mellon	State Street	China Construction Bank Co.	Agricultura Bank of China	Bank of Communications	China Merchants	Royal Bank of Canada	Commonwealth Bank of Australia	Itau Unibanco	Industrial and Commercial Bank of	Lloyds Banking Group	CITIC	Commerzbank AG	Intesa Sanpaolo	Bradesco	Banco do Brasil	Westpac Banking
American Balanced																			
Nationwide International Value Series																			
Vanguard European Stock																			
Schwab Capital Trut-Schwab Fundamental Int'l Large Co Index																			
Voya Variable Euro Stoxx 50 Index	x																		
Russell Inv Co-International Developed Markets																			
Voya Variable International Index																			
Russell Inv Co-Select International Equity																			
Vanguard Intl Equity Index - Total World Stock																			
Europacific Growth											x	x			x				
Thornburg International Value															x				
iShares MSCI Germany ETF															x				
iShares MSCI Eurozone ETF															x	x			
iShares Core MSCI Eafe ETF										x			x						
Templeton Growth		x																	
Janus Henderson International Opportunities																			
College Retirement Equities					x	x	x	x	x			x				x			
Northwestern Mutual-International Equity																			
Capital Income Builder									x				x			x			
New Perspective																			
Fidelity Strategic Advisers Value	x																		
Harbor Large Cap Value	x																		
Glenmede Fund-International																			
Liberty All-Star Equity	x																		
JP Morgan International Equity Income																			
Vanguard International Stock Index - Emerging					x	x	x	x		x	x		x				x		
iShares MSCI Emerging					x	x	x	x				x		x					
DFA Investment Dimensions-Emerging					x	x	x					x		x					
iShares Core MSCI Emerging					x	x	x	x				x		x					
iShares China 25 Large					x	x	x	x				x		x					
DFA Emerging Markets Core Equity					x		x	x			x	x		x			x		
Steward Fds-Global Equity											x	x							
Virtus Equity tr-Strategic Allocation																			
Timothy Plan International																			
Steward Fds-International Enhanced																			x
Powershares Exhg Traded Fd-Pwths BLDRS Developed Mkts																			x
Virtus Equity tr-Strategic Tactical Allocation																			
Powershares Exhg Traded Fd-Pwths BLDRS Asia 50																			x
Praxis International Index																			x
Franklin Mutual Series Global Discovery																			
Templeton Institutional International Equity																			
Templeton Global Balanced																			
Sunamerica International Growth&Income																			
Putnam International Equity																			
Sunamerica Trust-Foreign Value																			
Schwab Capital Trut-Schwab International Equity																			
BNY-Mellon International Appreciation Fund																			x
American Pension Inv Tr-Yorktown Capital Income																			
Johnson Mutual Funds Trust-International																			
Glenmede Fund-International Secured Options																			
Causeway International Value Fund																			
TIAA-CREF Funds-International Value Fund																			
New World Fund																			
American Insurance Ser-International																			
Price (T.Rowe) International Value Equity															x				
Fidelity Diversified International																			
Fidelity Overseas																			

Antifragilidade: Como a Ciência da Complexidade pode auxiliar as Organizações

Mutual Funds	Bancos																		
	BBVA	Standard Chartered	The Bank of New Mellon	State Street	China Construction Bank Co.	Agricultura Bank of China	Bank of Communications	China Merchants	Royal Bank of Canada	Commonwealth Bank of Australia	Itau Unibanco	Industrial and Commercial Bank of	Lloyds Banking Group	CITIC	Commerzbank AG	Intesa Sanpaolo	Bradesco	Banco do Brasil	Westpac Banking
Lazard International Equity																			
AMG Managers Pictet International	x																		
BlackRock Ser Inc-International	x																		
Voys Partners Inc.-VV/Oppenheimer Global	x																		
Tweedly Browne Global Value		x																	
Vanguard International Growth		x																	
Dodge & Cox Global Stock		x																	
First Eagle Global			x																
Price (T Rowe) Capital Appreciation			x																
Davis New York Venture			x																
Delaware Group Equity II-Value			x																
Lazard Emerging Markets Equity					x														
iShares MSCI China ETF					x		x	x						x					
GMO Emerging Markets						x													
Price (T. Rowe) New Asia						x													
WisdomTree Emerging Markets High Dividend							x												
Matthews Asia Funds-Matthews China								x											
JP Morgan Emerging Economies								x											
iShares MSCI Canada ETF									x										
American Mutual									x										
Vanguard Intl Equity Index IIS-FISE All World ex U.S. Index									x	x				x					
Fidelity Canada									x										
Vanguard International Stock Index-Pacific Stock										x									
iShares International Select Dividend										x									
iShares MSCI Australia ETF										x									
iShares MSCI Pacific ex-Japan ETF											x								
Fidelity International Index										x									
Harding, Loevner - Institutional Emerging Markets											x							x	
Delaware Group Global & International - Emerging Markets											x								
iShares Latin American 40											x							x	
Harding, Loevner - Institutional Equity											x								
Fidelity Series Emerging Markets											x	x							
Invesco International Growth													x						
Causeway Emerging Markets														x					
Vanguard International Value															x				
Invesco Developing Markets																		x	
Financial Investors Tr-Seafarer Overseas Growth																		x	
Aberdeen Emerging Markets																		x	
Aberdeen Global Emerging Equity																		x	
Schwab Strategic Emerging Markets Equity																			x
AdvisorShares Dorsey Wright ADR																			x
Powershares Exhg Traded Fd Tr-Intl Div Achievers																			x
Divided & Income																			x
Mutual Funds Ser Tr-Eventide Multi Asset Income																			x

A.3) Rede Interbancária – Acionistas em comum

Bancos	Bancos																											
	HSBC	UBS	Goldman Sachs	Bank of America	Citigroup	Credit Suisse	JPMorgan	Morgan Stanley	The Royal Bank of Scotland	Barclays	Wells Fargo	Santander	Deutsche Bank	BNP Paribas S.A.	Mitsubishi UFJ FG	Mizuho FG	ING Group Mitsui FG	Sumitomo Group Mitsui FG	BBVA	The Bank of NY Mellon	State Street	Royal Bank of Canada	Commonwealth Bank of Australia	Itaú Unibanco	Bradesco	Banco do Brasil	Westpac Banking	
HSBC	0	0	2	2	1	1	3	2	3	3	2	2	0	0	2	3	3	3	5	0	1	2	0	3	2	0	3	
UBS	0	0	4	4	2	1	2	1	0	0	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0	2	3	0	0
Goldman Sachs	2	4	0	5	4	1	7	5	1	0	6	0	2	0	1	0	1	1	2	0	6	2	0	4	2	0	1	
Bank of America	2	4	5	0	6	0	6	5	1	2	6	2	3	0	1	1	1	1	2	4	4	2	0	4	2	0	1	
Citigroup	1	2	4	6	0	0	6	7	1	2	7	0	2	0	0	0	1	0	1	4	7	2	0	4	3	0	1	
Credit Suisse	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
JPMorgan	3	2	7	6	6	1	0	5	2	2	7	1	3	0	2	1	1	2	3	5	8	2	0	4	2	0	2	
Morgan Stanley	2	1	5	5	7	0	5	0	0	2	6	0	1	0	0	0	1	0	1	4	5	2	0	4	3	0	1	
Royal Bank of Scotland	3	0	1	1	1	1	2	0	0	4	1	5	1	0	3	5	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	5
Barclays	3	0	0	2	2	1	2	2	4	0	3	5	0	0	3	3	4	3	3	1	1	0	0	2	1	1	2	
Wells Fargo	2	2	6	6	7	0	7	6	1	3	0	1	2	0	1	1	1	1	2	6	6	2	0	5	2	0	1	
Santander	2	1	0	2	0	0	1	0	5	5	1	0	2	0	3	5	3	4	3	0	0	0	0	1	1	1	4	
Deutsche Bank	0	3	2	3	2	0	3	1	1	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	1	2	1	0	2	1	0	1	
BNP Paribas S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mitsubishi UFJ Financial Group	2	0	1	1	0	1	2	0	3	3	1	3	0	0	0	5	3	5	6	0	0	0	0	1	1	1	5	
Mizuho Financial Group	3	0	0	1	0	1	1	0	5	3	1	5	1	0	5	0	3	3	2	0	0	1	0	0	0	0	2	6
ING Bank	3	0	1	1	1	1	1	1	3	4	1	3	0	0	3	3	0	4	4	0	0	1	0	2	1	1	3	
Sumitomo Mitsui FG	3	0	1	1	0	2	2	0	4	3	1	4	0	0	5	3	4	0	6	0	0	0	0	1	1	1	4	
BBVA	5	0	2	2	1	1	3	1	3	3	2	3	0	0	6	2	4	6	0	1	1	0	0	3	3	1	3	
The Bank of New York Mellon Co.	0	3	0	4	4	0	5	4	0	1	6	0	1	0	0	0	0	0	1	5	0	2	0	2	2	0	0	
State Street	1	2	6	4	7	0	8	5	0	1	6	0	2	0	0	0	0	0	1	5	0	2	0	4	3	0	1	
Royal Bank of Canada	2	1	2	2	2	0	2	2	0	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	2	1	0	1	
Commonwealth Bank	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Itaú Unibanco Holding	3	2	4	4	4	0	4	4	0	2	5	1	2	0	1	0	2	1	3	2	4	2	0	0	6	0	0	
Bradesco S.A.	2	3	2	2	3	0	2	3	0	1	2	1	1	0	1	0	1	1	3	2	3	1	0	6	0	0	1	
Banco do Brasil S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
Westpac Banking Corporation	3	0	1	1	1	2	2	1	5	2	1	4	1	0	5	6	3	4	3	0	1	1	0	0	1	1	0	

A.5) Rede Interbancária – Bancos acionistas

Acionistas	Bancos																							
	HSBC	UBS	Goldman Sachs	Bank of America	Citigroup	Credit Suisse	JPMorgan	Morgan Stanley	The Royal Bank of Scotland	Barclays	Wells Fargo	Santander	Deutsche Bank	Mitsubishi UFJ FG	Mizuho FG	ING Groep	Sumitomo Mitsui FG	BBVA	The Bank of NY Mellon	State Street	Royal Bank of Canada	Itau Unibanco	Westpac Banking	
HSBC Holding																								
UBS Group AG		x				x																		
Goldman Sachs Group, Inc.									x			x												x
Bank of America Co.	x		x			x			x															x
Credit Suisse		x																						
J.P. Morgan Chase & Cia				x				x			x													x
Morgan Stanley																								
Wells Fargo & Company																								
Credit Agricole S.A.																								
Mitsubishi UFJ Financial Group, Inc																								
Bank of New York Mellon Co.																								
State Street Co.																								
Royal Bank of Canada	x																							
Commerzbank Aktiengesellschaft																								

A.6) Mensuração IAB - Valores das Variáveis dos Critérios Analíticos da Antifragilidade

Label	Redundancy		Emergence						Requisite Variety		Stress Starvation				Non-Monotonicity		Absorption	
	Number of employees	Shareholder other banks	Brand Value (\$M)	Corporate University	Research Institute	Startup Accelerator Partnership	Labs and R&D Centers	Developed portal	Rating (SBP)	Government agency	Beta (SY Monthly)	Adjusted Capital Ratio (%)	Basel AML Index	PD (%)	% Revenue Growth	Δ Brand Value (%)	ASG	EBITDA Margin
HSBC	228.687	0	18.305	1	1	The Floor, Sprinter, FILLondon, FILA-P, SBC	SV, +ASTRI, Hong Kong, China, Israel, UK, India	Y	A	0	1,08	17,3	4,81	0,09	-3,35	-12	65	32,74
UBS	61.253	1	8.801	1	Partnership	FILLondon, FILNY, FILA-P, Level39	8, R3	N	A-	0	1,32	17,65	5,15	0,12	2,95	-6	73	50,43
Goldman Sachs	36.600	0	9.179	1	Partnership	FILNY, FILA-P	Stockholm	N	BBB+	0	1,34	12,5	4,85	0,15	13,15	3	68	29,12
Bank of America	208.000	0	33.289	Partnership	1	FILLondon, FILNY, FILA-P, QCFintech, CFSi	SV	N	A-	0	1,35	13,2	4,85	0,11	12,77	10	69	45,23
Citigroup	209.000	0	30.783	1	Partnership	FILLondon, FILNY, FILA-P, FILDB, IdeoColab, CFSi	London, Dublin, Mexico, Singapore, Israel, +universities	Y	BBB+	0	1,52	14,53	4,85	0,12	6,23	11	64	47,15
Credit Suisse	46.840	0	6.663	1	1	FILLondon, FILNY, FILA-P, FILDB, PlugandPlay	R3	N	BBB+	0	1,85	18,9	5,15	0,17	-1,82	9	62	65,44
JPMorgan	253.707	5	17.651	Partnership	1	FILLondon, FILNY, FILA-P, CFSi	SV, University Delaware, R3	N	A-	0	1,21	14,4	4,85	0,08	15,15	12	71	52,05
Morgan Stanley	57.633	0	7.802	1	1	FILLondon, FILNY, FILA-P	Universities	N	BBB+	0	1,51	18,9	4,85	0,12	15	4	61	27,85
Royal Bank of Scotland	70.900	0	<1.500	Partnership	Partnership	The Floor, FILLondon	Edinburgh, London, R3	N	BBB-	70,13	0,89	17,9	4,81	0,11	-1,99	-60	56	50,33
Barclays	79.900	0	13.508	Partnership	1	FILNY, Techstars, FILA	London, R3	Y	BBB	0	0,61	13,3	4,81	0,13	-6,26	4	60	34,11
Wells Fargo	265.700	0	44.098	Partnership	1	FILNY, QCFintech, CFSi	SV, SF, Universities	Y	A-	0	1,11	14,14	4,85	0,22	9,78	6	57	44,95
Santander	201.900	0	16.200	Partnership	Universidade Carlos III Madrid	The Floor, FILLondon, SBC, Masschallenge, CFSi	Universities	N	A	0	1,48	12,77	4,87	0,14	1,6	2	70	33,69
Deutsche Bank	97.535	1	6.127	Partnership	1	The Floor, FILNY, SBC, PlugandPlay	SV, London, Berlin, NY	Y	A-	0	1,24	15,4	4,78	0,49	-6,02	24	65	39,78
Credit Agricole S.A.	72.781	0	5.775	Partnership	Partnership	LeVillage	LeVillage, Toulouse, +Universities	N	A	0	1,34	14,6	4,52	0,13	-1,38	41	80	20,53
BNP Paribas S.A.	196.000	0	13.713	Partnership	1	FILNY, SBC, PlugandPlay	Cardif, L'Atelier, SV	Y	A	8,76 (Belgium e Luxembourg)	1,21	11,8	4,52	0,1	-0,27	1	78	36,3
Mitsubishi UFJ FG	109.200	3	14.507	Partnership	1	Level39, PlugandPlay	Tokyo, SV	N	A-	0	1,82	14,32	5,36	0,11	7,16	10	63	49,99
Bank of China	311.133	0	41.750	Partnership	1	with Tencent (China)	ASTRI (Hong Kong)	N	A	0	0,76	12,02	6,53	0,06	9,98	34	50	53,53
Mizuho FG	59.179	0	5.761	Partnership	1	Partnership	Tokyo, SV	N	A-	0	1,37	15,44	5,36	0,09	12,23	-12	72	46,11
Societe Generale	147.000	0	8.155	1	1	FILA-P, FILLondon	Le Plateau (Paris), Africa	N	A	0	1,5	13,8	4,52	0,16	-3,98	23	74	29,52
ING Bank	48.428	0	9.785	1	Partnership	StartupBootCamp	Amsterdam, Singapore	Y	A-	0	1,18	16,37	4,93	0,09	-0,51	13	85	200,89
Sumitomo Mitsui FG	77.205	1	5.917	Partnership	1	PlugandPlay	Tokyo, SV	N	A-	0	1,6	16,69	5,36	0,08	13,27	-6	59	36,8
Unicredit Group	90.365	0	<2.300	1	Partnership	Incubators and accelerators programs	Italy	Y	BBB	0	1,78	15,36	5,41	0,19	-7,55	-30	73	39,28
Nordea Bank	30.399	0	6.355	Partnership	Partnership	FILLondon	Own Hub, Helsinki	Y	AA-	0	1,1	22,3	4,25	0,14	-2,22	13	81	64,13
BBVA	131.856	0	11.616	Partnership	1	CFSi	Madrid, Bogatá, +Universities, R3	Y	A-	0	1,4	13	4,87	0,11	5,73	42	64	47,91
Standard Chartered	82.838	0	5.673	Partnership	Partnership	FILA-P	SV, Singapore	Y	BBB+	0	1,32	16	4,81	0,15	10,95	19	65	36,57
The Bank of New York Mellon Co.	52.100	1	3.482	1	Partnership	Masschallenge	Palo Alto, Pittsburg, London, New Jersey, Pune and Chennai	N	A	0	1,21	12,7	4,85	0,09	22,57	-1	66	43,83
State Street	36.643	11	2.451	1	Partnership	FILLondon, FILDB	Universities, R3	N	A	0	1,29	15,5	4,85	0,07	13,8	-9	72	40,23
China Construction Bank	352.621	0	56.789	Partnership	Partnership	FILA-P	Shangai	N	A	0	0,95	13,71	6,53	0,07	7,68	37	52	62,51
Agricultural Bank of China	487.307	0	37.321	Partnership	Partnership	Partnership	ABC E-innovation	N	A	43,31	0,67	11,26	6,53	0,14	8,6	31	44	48,44
Bank of Communications Co.	94.117	1	14.055	Partnership	Partnership	Partnership	Universities	N	A-	38,59	0,81	11,86	6,53	0,07	9,55	21	52	96,02
China Merchants Bank	72.530	1	16.673	1	Partnership	Partnership	Universities	N	BBB+	0	0,83	13,02	6,53	0,19	12,31	17	53	59,96
Royal Bank of Canada	78.648	0	13.827	Partnership	1	Partnership	Montreal, Toronto, NY, London, Luxembourg, Orlando, SV	Y	AA-	0	0,96	12,3	5,14	0,03	10,03	9	71	47,92
Commonwealth Bank	42.959	0	8.283	Partnership	Partnership	FILA-P, CFSi	R3	Y	AA-	0	1,06	12,1	4,49	0,07	-1,55	1	74	78,75
Itau Unibanco Holding	99.332	2	8.011	Partnership	Partnership	Partnership	São Paulo	N	BB-	0	1,26	16,2	6,2	0,09	-10,41	17	58	47,56
Industrial and Commercial Bank of China	453.048	0	59.189	1	1	FILA-P	ASTRI (Hong Kong)	N	A	45,74	0,64	13,27	6,53	0,16	8,86	24	48	61,92
Lloyds Banking Group	67.905	0	6.379	Partnership	Partnership	FILLondon, StartupBootCamp	Universities	Y	BBB+	0	0,48	16,6	4,81	0,11	-3,69	0	73	32,54
Citic Limited	243.036	0	10.265	Partnership	Partnership	FILA-P	Universities	N	BBB+	0	0,98	10,9	5,54	0,15	1,86	8	43	27,32
Commerzbank AG	43.560	0	<2.300	Partnership	Partnership	Partnership	Frankfurt	N	A-	15,6	1,01	15,2	4,78	0,22	3,99	-1	71	62,04
Intesa Sanpaolo	96.892	0	5.127	Partnership	Partnership	FILLondon, SBC	Milan	N	BBB	3,38	1,5	15,2	5,41	0,12	-3,63	12	81	42,68
Bradesco S.A.	98.808	1	5.633	1	Partnership	CorvoNY, CorvoLondon	São Paulo	N	BB-	0	1,43	13,1	6,2	0,09	-4,47	1	65	24,88
Banco do Brasil S.A.	99.161	0	4.163	1	Partnership	PlugandPlay	SV, Brasilia	Y	BB-	50,73	2,03	13,8	6,2	0,11	-14,81	-20	65	41,53
Westpac Banking Co.	32.033	0	5.833	Partnership	1	Partnership	Sydney	N	AA-	0	1,31	12,66	4,49	0,07	-1,85	0	84	89,11
1	<100M	0	<10M			0	0	C - D	0	> 1,50	<4,00	> 8,00	> 0,50	< - 20	< - 50	< 30	< 10	
2	[100M, 200M]	0	[10M, 20M]			0	0	CCC - CC	< 10,00	[1, 1,50]	[4, 8]	[6, 8]	[0,20, 0,50]	[-20, -10]	[-50, -10]	[30, 50]	[10, 20]	
3	[200M, 300M]	1	[20M, 30M]	Partnership	Partnership	1 a 3	1	BB - B-	[10, 30]	1	[8, 12]	[4,50, 6]	[0,15, 0,20]	[-10, 0]	[-10, 0]	[50, 70]	[20, 50]	
4	[300M, 400M]	[2, 5]	[30M, 40M]			3 a 6	2	N A - BBB-	[30, 50]	[0,50, 1]	[12, 16]	[3, 4,50]	[0,10, 0,15]	[0, 10]	[0, 10]	[70, 80]	[50, 100]	
5	>400M	>5	>40M	1	1	> 6	≥ 3	Y AAA - AA-	> 50,00	[0, 0,50]	> 16,00	< 3,00	< 0,1	> 10	> 10	> 80	> 100	

A.7) Mensuração IAB – Padronização das Variáveis dos Critérios Analíticos da Antifragilidade

Label	Redundancy		Emergence					Requisite Variety		Stress Starvation				Non-Monotonicity		Absorption			
	Number of employees	Shareholder other banks	Brand Value (\$M)	Corporate University	Research Institute	Startup Accelerator Partnership	Labs and R&D Centers	Developed portal	Rating (S&P)	Government agency	Beta (5Y Monthly)	Adjusted Capital Ratio (%)	Basel AML Index	PD (%)	% Revenue Growth	Δ Brand Value (%)	ASG	EBITDA Margin	
HSBC	3	1	2	5	5	5	5	5	4	1	2	5	3	5	3	2	3	3	
UBS	1	3	1	3	3	3	4	5	4	4	1	2	5	3	4	4	3	4	4
Goldman Sachs	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	1	2	4	3	3	5	4	3	3
Bank of America	3	1	4	5	5	4	3	4	4	1	2	4	3	4	5	4	3	3	
Citigroup	3	1	4	5	3	4	5	5	4	1	1	4	3	4	4	5	3	3	
Credit Suisse	1	1	1	5	5	4	3	4	4	1	1	5	3	3	3	4	3	4	
JPMorgan	3	4	2	3	5	4	5	4	4	1	2	4	3	5	5	5	4	4	
Morgan Stanley	1	1	1	5	5	3	3	4	4	1	1	5	3	4	5	4	3	3	
Royal Bank of Scotland	1	1	1	3	3	3	5	4	4	5	4	5	3	4	3	1	3	4	
Barclays	1	1	2	3	5	3	4	5	4	1	4	4	3	4	3	4	3	3	
Wells Fargo	3	1	5	3	5	3	5	5	4	1	2	4	3	3	4	4	3	3	
Santander	3	1	2	3	3	4	3	4	4	1	2	4	3	4	4	4	3	3	
Deutsche Bank	1	3	1	3	5	4	5	5	4	1	2	4	3	2	3	5	3	3	
Credit Agricole S.A.	1	1	1	3	3	3	5	4	4	1	2	4	3	4	3	5	4	3	
BNP Paribas S.A.	2	3	2	3	5	3	5	5	4	2	2	3	3	4	3	4	4	3	
Mitsubishi UFJ FG	2	4	2	3	5	3	4	4	4	1	1	4	3	4	4	4	3	3	
Bank of China	4	1	5	3	5	3	3	4	4	1	4	4	2	5	4	5	2	4	
Mizuho FG	1	1	1	3	5	3	4	4	4	1	2	4	3	5	5	2	4	3	
Societe Generale	2	1	1	5	5	3	4	4	4	1	2	4	3	3	3	5	2	3	
ING Bank	1	1	1	5	3	3	4	5	4	1	2	5	3	5	3	5	5	5	
Sumitomo Mitsui FG	1	3	1	3	5	3	4	4	4	1	1	5	3	5	5	3	3	3	
Unicredit Group	1	1	1	5	3	3	3	5	4	1	1	4	3	3	3	2	4	3	
Nordea Bank	1	1	1	3	3	3	3	5	4	1	2	5	4	4	3	5	5	4	
BBVA	2	1	2	3	5	3	5	5	4	1	2	4	3	4	4	5	3	3	
Standard Chartered	1	1	1	3	3	3	4	5	4	1	2	4	3	3	5	5	3	3	
The Bank of NY Mellon Co.	1	3	1	5	3	3	5	4	4	1	2	4	3	5	5	3	3	3	
State Street	1	5	1	5	3	3	4	4	4	1	2	4	3	5	5	3	4	3	
China Construction Bank	4	1	5	3	3	3	3	4	4	1	4	4	2	5	4	5	3	4	
Agricultural Bank of China	5	1	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	2	4	4	5	2	3	
Bank of Communications Co.	1	3	2	3	3	3	3	4	4	4	4	3	2	5	4	5	3	4	
China Merchants Bank	1	3	2	5	3	3	3	4	4	1	4	4	2	3	5	5	3	4	
Royal Bank of Canada	1	1	2	3	5	3	5	5	4	1	4	4	3	5	5	4	4	3	
Commonwealth Bank	1	1	1	3	3	3	3	5	4	1	2	4	4	5	3	4	4	4	
Itau Unibanco Holding	1	4	1	3	3	3	3	4	3	1	2	5	2	5	2	5	3	3	
Industrial and Commercial Bank of China	5	1	5	5	5	3	3	4	4	4	4	4	2	3	4	5	2	4	
Lloyds Banking Group	1	1	1	3	3	3	3	5	4	1	5	5	3	4	3	3	4	3	
Citic Limited	3	1	2	3	3	3	3	4	4	1	4	3	3	3	4	4	2	3	
Commerzbank AG	1	1	1	3	3	3	3	4	4	3	2	4	3	2	4	3	4	4	
Intesa Sanpaolo	1	1	1	3	3	3	3	4	4	2	2	4	3	4	3	5	5	3	
Bradesco S.A.	1	3	1	5	3	3	3	4	3	1	2	4	2	5	3	4	3	3	
Banco do Brasil S.A.	1	1	1	5	3	3	4	5	3	5	1	4	2	4	2	5	3	3	
Westpac Banking Co.	1	1	1	3	5	3	3	4	4	1	2	4	3	5	3	3	5	4	

Valores	Intervalos
1	(0,0, 0,1, 0,2)
2	(0,2, 0,3, 0,4)
3	(0,4, 0,5, 0,6)
4	(0,6, 0,7, 0,8)
5	(0,8, 0,9, 1,0)

A.9) Mensuração IAB – Soma dos Critérios em Lógica Fuzzy

Financial Organization	Emergence	Requisite Variety	Stress Starvation	Non-Monotonicity	Absorption	Fuzzy Antifragility Index		
						l	m	u
HSBC	(0.68, 0.78, 0.88)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.45	0.55	0.65
UBS	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.6, 0.7, 0.8)	0.46	0.56	0.66
Goldman Sachs	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.39	0.49	0.59
Bank of America	(0.64, 0.74, 0.84)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.48	0.58	0.68
Citigroup	(0.64, 0.74, 0.84)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.49	0.59	0.69
Credit Suisse	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.41	0.51	0.61
JPMorgan	(0.56, 0.66, 0.76)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.6, 0.7, 0.8)	0.58	0.68	0.78
Morgan Stanley	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.42	0.52	0.62
Royal Bank of Scotland	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.64, 0.74, 0.84)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.39	0.49	0.59
Barclays	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.42	0.52	0.62
Wells Fargo	(0.64, 0.74, 0.84)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.48	0.58	0.68
Santander	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.43	0.53	0.63
Deutsche Bank	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.28, 0.38, 0.48)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.45	0.55	0.65
Credit Agricole S.A.	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.41	0.51	0.61
BNP Paribas S.A.	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.48	0.58	0.68
Mitsubishi UFJ FG	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.47	0.57	0.67
Bank of China	(0.56, 0.66, 0.76)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.50	0.60	0.70
Mizuho FG	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.41	0.51	0.61
Societe Generale	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	0.41	0.51	0.61
ING Bank	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.45	0.55	0.65
Sumitomo Mitsui FG	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.44	0.54	0.64
Unicredit Group	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.28, 0.38, 0.48)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.36	0.46	0.56
Nordea Bank	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.42	0.52	0.62
BBVA	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.46	0.56	0.66
Standard Chartered	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.43	0.53	0.63
Bank of New York Mellon Co.	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.45	0.55	0.65
State Street	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.49	0.59	0.69
China Construction Bank	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.50	0.60	0.70
Agricultural Bank of China	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.3, 0.4, 0.5)	0.49	0.59	0.69
Bank of Communications Co.	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.48	0.58	0.68
China Merchants Bank	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.8, 0.9, 1.0)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.48	0.58	0.68
Royal Bank of Canada	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.48	0.58	0.68
Commonwealth Bank	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.6, 0.7, 0.8)	0.43	0.53	0.63
Itau Unibanco Holding	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.40	0.50	0.60
Industrial and Commercial Bank of China	(0.64, 0.74, 0.84)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.48, 0.58, 0.68)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.52	0.62	0.72
Lloyds Banking Group	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.52, 0.62, 0.72)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.41	0.51	0.61
Citic Limited	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	0.42	0.52	0.62
Commerzbank AG	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.6, 0.7, 0.8)	0.40	0.50	0.60
Intesa Sanpaolo	(0.32, 0.42, 0.52)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.39	0.49	0.59
Bradesco S.A.	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.36, 0.46, 0.56)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.39	0.49	0.59
Banco do Brasil S.A.	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.44, 0.54, 0.64)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.36	0.46	0.56
Westpac Banking Co.	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.40, 0.50, 0.60)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7)	0.38	0.48	0.58