



***Tipping Points* num Sistema Multi-Agente Bancário**

por

André Ângelo Moreira Dias

Dissertação de Mestrado em Análise de Dados e Sistemas de Apoio à Decisão

Orientada por:

Pedro José Ramos Moreira de Campos

2013

Nota Bibliográfica do autor

André Ângelo Moreira Dias, nascido em Vila Nova de Gaia em 1979 é Licenciado em Economia pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto. A sua experiência profissional já superior a uma década, foi exercida essencialmente na Banca de Investimento (Finibanco, Barclays).

Os seus interesses são em temas relacionados com Economia Monetária, Macroeconomia, Simulação e Data Mining.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Pedro Campos pela preciosa ajuda na elaboração desta dissertação, sempre com um contributo positivo mas também crítico do trabalho que ia sendo realizado.

Agradeço também o apoio da minha mulher, Mariana, que muitas horas e momentos viu suprimidos da minha companhia.

Dedico esta dissertação à Mariana, à minha filha, Matilde e aos meus pais.

Resumo

A presente dissertação analisa uma rede bancária criada a partir das relações existentes no mercado interbancário e também nas relações entre banco e clientes com base em processos Multi-Agente. O estudo foi realizado usando uma rede bipartida, onde numa camada superior são considerados bancos e numa camada inferior consumidores, com o intuito de simular uma rede bancária. Para estudar as relações entre os diversos agentes, utilizaram-se conceitos contabilísticos e financeiros. O objetivo consistiu em verificar a existência de *Tipping Points* em caso de existência de risco sistêmico na rede bancária. Para a realização do modelo e posterior simulação, utilizou-se o software Netlogo. Conclui-se que existe possibilidade de risco sistêmico em determinadas configurações e que este surge em forma de pontos de viragem.

Palavras-Chave: *Tipping Points*, Redes Bancárias, Risco Sistêmico, Contágio, Risco de Crédito, Risco de Liquidez, Crises Financeiras

Abstract

The present dissertation analyzes a network created from banking relationships in the inter-banking market and banking relationships with its clients using an Agent Based approach. The study was conducted using a bipartite network where we have banks at the higher level and consumers at the lower level, with the purpose of simulating a banking network. In order to study the relationships between the different agents, accounting and financial concepts were used. The goal consisted in verifying the existence *Tipping Points* in case of presence of systemic risk in the banking network. To create the model and run the simulation, Netlogo Software has been used. The simulation shows the presence of systemic risk for certain setups and also the presence of *Tipping Points*.

Keywords: *Tipping Points*, Banking Networks, Systemic Risk, Contagion, Credit Risk, Liquidity Risk, Financial Crises

Índice

Nota Bibliográfica do autor.....	ii
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iii
Índice.....	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas.....	vii
1. Capítulo – Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. A ideia.....	2
2. Capítulo – Crises sistémicas em redes bancárias:	4
2.1. Crises Financeiras.....	4
211. Crises de crédito	5
212. Crises de liquidez	6
2.2. <i>Tipping Points</i>	9
3. Capítulo – (MOTIPO) Modelo Multi-Agente de Obtenção de <i>Tipping Points</i> em Crises Bancárias.	12
3.1. Sistemas Multi-Agente	12
3.2. A abordagem.....	14
3.3. Vantagens da abordagem face à literatura de referência	16
3.4. Formalização do Modelo	24
3.5. O Banco Central	26
3.6. Os consumidores.....	26
3.7. Simulação	28

3.8. Formalização das falências	29
3.9. Definição das variáveis, regras e agentes.....	33
3.10. Netlogo e Interface do modelo	37
4. Capítulo – Resultados	42
4.1. Análise às variáveis controladas pelos bancos.....	44
4.2. Análise às variáveis controladas pelas autoridades.....	47
4.3. Análise às variáveis controladas pelos clientes.....	50
4.4. Análise às variáveis controladas pelo mercado.....	53
4.5. Análise ao <i>Scale-Free</i>	59
5. Capítulo – Conclusão.....	62
6. Apêndice	66
6.1. – Tabela de resultados de bancos sobreviventes relativamente à alteração das variáveis controladas pelas autoridades e seleção do maior banco no sistema para dar início à simulação.....	66
6.2. Tabela de resultados de bancos sobreviventes relativamente à alteração das variáveis controladas pelas autoridades e seleção do menor banco no sistema para dar início à simulação.....	72
6.3. Código da Simulação escrito para o software Netlogo	77
7. Bibliografia	85

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Efeito Linear Vs Tipping Point	10
Figura 2.2 - Representação de um Tipping Point	10
Figura 3.1 - Representação da Rede	15
Figura 3.2 - Balaço típico de um banco no sistema	18
Figura 3.3 - Balanço simplificado	19
Figura 3.4 - Redução do Ativo	20
Figura 3.5 - Redução do Capital.....	20
Figura 3.6 - Choque de Liquidez em situação normal de mercado.....	20
Figura 3.7 - Choque de Liquidez em situação anormal de mercado	21
Figura 3.8 - Balanço após choque de liquidez	31
Figura 3.9 - Esquema do Sistema.....	32
Figura 3.10 - Visualização dos atributos de um banco no sistema	36
Figura 3.13 - Exemplo de um Setup no Interface do Netlogo.....	39
Figura 4.1 - Behavior Space do Netlogo	43
Figura 4.2 - Bancos Sobreviventes (Bancos – Maior)	46
Figura 4.3 - Output do modelo (Bancos - Maior)	47
Figura 4.4 - Bancos Sobreviventes (Autoridade – Maior)	50
Figura 4.5 – Output do modelo (Autoridades - Maior)	50
Figura 4.6 - Bancos Sobreviventes (Clientes – Maior)	53
Figura 4.7 - Output modelo (Clientes – Maior)	53
Figura 4.8 - Bancos Sobreviventes (Mercado – Maior)	56
Figura 4.9 - Configuração modelo (Mercado - Maior)	57
Figura 4.10 - Output modelo (Mercado - Maior)	58
Figura 4.11 - Situação Inicial	60
Figura 4.12 - Situação do sistema após duas rondas de contágio	60
Figura 4.13 - Situação final após três rondas de contágio.....	61

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- Resumo dos artigos centrais no desenvolvimento do modelo	8
Tabela 3.1- Frequência relativa da V.A. "Contas Bancárias"	23
Tabela 3.2 -Limites, Tipo e função das variáveis no sistema	34
Tabela 3.3 - Regras dos Agentes	35
Tabela 4.1 - Resumo das variáveis utilizadas na simulação	42
Tabela 4.2 - Valores utilizados na simulação (Bancos).....	44
Tabela 4.3 - Bancos Sobreviventes (Bancos – Maior).....	45
Tabela 4.4 - Valores utilizados na simulação	48
Tabela 4.5 - Bancos Sobreviventes (Autoridade – Maior)	49
Tabela 4.6 - Valores utilizados na simulação	51
Tabela 4.7 - Bancos Sobreviventes (Clientes – Maior)	52
Tabela 4.8 - Valores utilizados na simulação	54
Tabela 4.9 - Bancos Sobreviventes (Mercado – Maior)	55
Tabela 4.10- Bancos Sobreviventes (Mercado – Menor)	57

1. Capítulo – Introdução

1.1. Motivação

A queda do banco Lehman Brothers em 2008 é considerado o momento central da crise financeira que teve início nesse mesmo ano com a questão do crédito *sub prime*. A improvável situação de um banco falir tornou-se realidade. Os motivos apresentados pelas autoridades para não terem “salvado” o Lehman Brothers foram os baixos riscos de contágio que traria para o sistema financeiro em geral e para o sistema bancário em particular.

A falência de bancos não é um tema novo, como Friedman e Schwartz, (1963), mostram: Na grande depressão dos anos 30 nos Estados Unidos da América, dos cerca de 25.000 bancos existentes em 1929, sobreviveram menos de 15.000 em 1933. Mas, o impacto que provoca na Economia e em última análise, na vida de todos, torna-se um tema de um interesse extraordinário, com uma contribuição imensurável para o desenvolvimento da ciência económica e para o surgir de novas políticas.

Apesar do estudo sobre crises no sistema financeiro já ter uma longa tradição (Friedman e Schwartz (1963), Bernanke (1983), Bernanke and Gertler (1989)), a crise de 2008 motivou o surgir de novas abordagens, primeiro para tentar entender a sua origem mas, acima de tudo, para prevenir futuras crises. O sistema financeiro evoluiu notavelmente, muitas vezes através de produtos que requerem para a sua compreensão, a posse de capacidades técnicas extensas. E a necessidade de valorizar estes produtos requer a utilização de complexos algoritmos. A transparência na comercialização destes ativos financeiros diminuiu proporcionalmente à capacidade de entendimento do seu funcionamento.

A análise económica também evoluiu. Uma contribuição veio de um ramo da Inteligência Artificial chamado *Agent-Based Computational Economics* (ACE). Como

Tesfatsion (2005) descreve, ACE é uma abordagem computacional ao estudo dos processos económicos, modelado como um sistema dinâmico e com agentes intervenientes. O objetivo desta abordagem é individualizar as ações dos agentes, percebendo como o sistema, no seu conjunto, é afetado.

Juntando a tradição da análise a crises financeiras, com a crise de 2008 e ainda o ACE foi claro, no entender do autor, que mais um contributo para o entendimento deste tema poderia ter interesse em ser desenvolvido. Foi com esse pensamento em mente que este estudo foi elaborado.

1.2. A ideia

O modelo proposto pretende simular uma rede bancária, composta por um conjunto de bancos e clientes heterogéneos definidos exogenamente. Para além dos bancos e dos consumidores, existe um terceiro agente, o banco central, que funciona como financiador de último recurso mediante o cumprimento de algumas regras. O objetivo da simulação é verificar a existência de pontos de viragem (doravante referido neste estudo como *Tipping Points* (TP)), no caso de a rede bancária apresentar risco sistémico (ver a secção 2.2 para definição de TP).

A simulação principia-se através de um choque causado pela falência de um banco, acontecimento este que poderá provocar um conjunto de eventos que afetarão, quer as fontes de liquidez dos restantes bancos quer a decisão dos consumidores em permanecerem no sistema. É à existência de um mercado interbancário, onde os bancos emprestam ou recebem emprestado fundos para exercerem as suas operações, que o risco de uma falência é partilhado por todos os agentes presentes no sistema. A existência deste mercado, cria risco sistémico na rede existindo a possibilidade de todos os bancos falirem.

As variáveis estão divididas em diferentes grupos consoante o agente que as domina. Sendo assim, existem variáveis controladas pelos bancos, pelos consumidores, e pelo banco central – apresentado como “autoridades”. Existem, também, um par de variáveis que não ficam diretamente dependentes de qualquer agente, atribuindo-se o seu controlo às forças de mercado.

A simulação utiliza o conceito de rede social no sentido em que o sistema bancário é, no fundo, composto por um conjunto de ligações que unem bancos a bancos e clientes a bancos, representando fluxos, no caso dos bancos através das rubricas dos seus balanços que registam as operações no mercado interbancário e no caso dos consumidores através dos seus depósitos.

Os resultados obtidos através da análise de nove variáveis do modelo permitem sugerir que há risco sistémico em determinadas circunstâncias, nomeadamente nas variáveis controladas pelas autoridades e nas variáveis dependentes do mercado. Sugerem também, que as combinações que levam o sistema a ruir surgem de forma súbita, isto é, existem *Tipping Points*. Por outro lado, nas variáveis controlados pelos bancos e pelos consumidores, perante as configurações simuladas, não parece existir risco sistémico.

O restante trabalho segue a seguinte organização: no ponto 1.2, apresenta-se o tema analisado, explicando-se os objetivos a atingir bem como algumas das conclusões obtidas. No ponto 3.10 deste mesmo capítulo, referencia-se o programa informático, utilizando-se para a elaboração da simulação, o Netlogo. O capítulo 2 concentra-se na revisão da literatura, fazendo-se um resumo alargado dos diversos trabalhos existentes sobre a temática das crises financeiras, fontes de risco sistémico e processos de contágio. Tentou-se apresentar diversas perspetivas de análise bem como estabelecer ligações históricas entre os diferentes artigos. O capítulo 3 principia com o enquadramento teórico, explicitando-se as questões centrais abordadas ao mesmo tempo que se apresentam as inovações introduzidas. A partir do ponto 3.4 apresenta-se o modelo de forma formal, detalhando-se as regras a que os diferentes agentes e o sistema estão restritos. Para as diferentes condições, menciona-se os motivos da sua implementação apresentando-se os fundamentos teóricos, sempre que necessário. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos através da simulação. Tentou-se a verificação dos resultados confrontando os mesmos com os resultados de outros autores mencionados. A conclusão do trabalho está presente no capítulo 5, fazendo-se um sumário do modelo e enquadrando os resultados obtidos com os objetivos pretendidos.

2. Capítulo – Crises sistêmicas em redes bancárias:

2.1. Crises Financeiras

Existe uma extensa literatura sobre crises e contágio em redes financeiras (Friedman e Schwartz (1963), Bernanke (1983), Bernanke and Gertler (1989)), Allen e Galle (1998), Diamond e Dybvig (1998), Freixas et al. (2000), Allen e Galle (2000), Watts (2002), van Lelyveld e Liedorp (2004), Eboli (2004), Nier et al. (2007), Manna and Iazzetta (2009)), Gai e Kapadia (2009), Chan-Lau et al. (2009), Chan-Lau (2009a), Gabrieli (2010), L.Cutillo et al. (2012)), só para citar alguns), com repercussões muito importantes na compreensão da Economia de crises sistêmicas. A inclusão de uma análise através de processos Multi-Agente, que tem a vantagem de individualizar ações dos diferentes intervenientes no sistema, também começa a encontrar-se disponível (Co-Pierre (2011), Markose et al. (2012), Provenzano (2012)). Como se trata de uma temática extensa, existem diversas perspectivas possíveis. Para além disto, como se trata de um tema com história na literatura, existem muitos artigos que se assumem como complementos, continuação ou simplesmente, fruto de inspiração de outros trabalhos, por exemplo Nier et al. (2007) ou Co-Pierre (2011). Em alguns a análise não passou de uma abordagem teórica, em outros já se podem encontrar simulações. E ainda existem os que utilizaram estudos empíricos. Uma outra característica dos diversos trabalhos propostos é a dificuldade de encontrar um só fio condutor, pois se existem evoluções claras nas técnicas utilizadas, há também recuos com a intenção de se abordar um determinado ponto de uma outra forma.

Este capítulo, serve assim, como um ponto de citação de diversos trabalhos que foram importantes para a compreensão da problemática, bem como para a realização do modelo aqui apresentado. Um conjunto de trabalhos considerados centrais para o autor são resumidos na Tabela 2.1. Tentou-se enlear os diversos trabalhos, procurando que o

leitor consiga compreender as diferentes ópticas utilizadas, mas frisando que por vezes esse objetivo pode não ter sido conseguido.

211. Crises de crédito

São muitos os artigos que repetidamente são referenciados na questão das crises financeiras. Contudo, nenhum como o estudo de Allen e Galle (2000) serve como ponto de referência para tantos autores. No seu artigo os autores mostram que a extensão da fragilidade de um sistema financeiro está dependente na estrutura das ligações interbancárias. Quando estamos perante um estrutura completa, isto é, uma estrutura onde todos os bancos estão ligados a todos os outros bancos, a capacidade de absorção de um choque provocado pela falência de determinado banco na rede, é espalhado por todos os outros, cabendo a cada um, uma pequena parte do choque. Contudo, se os bancos tiverem poucas ligações os efeitos de contágio podem ser graves e amplificar a crise financeira. Um ponto negativo relativamente a este estudo é o facto de terem sido utilizados somente quatro bancos numa rede muito simples com poucas definições financeiras, não servindo para representar convenientemente a realidade. Este artigo engloba um conjunto de técnicas que foram sendo desenvolvidas ao longo de algum tempo, como por exemplo a questão da utilização da teoria de redes sociais juntamente, e não somente, com os balanços dos bancos.

Há uma corrente de autores, contudo, que continua a restringir a sua análise aos balanços. Um excelente exemplo desta forma de trabalhar é dado por Chan-Lau (2009a). Neste artigo, o autor explica como a identidade de um balanço pertencente a uma instituição financeira funciona. E apresenta os efeitos de forma agregada na identidade do balanço provocados por choques de crédito e de liquidez. Apresenta, também, um capítulo sobre “transferência de risco” referente a choques fora do balanço. Uma vez feito este enquadramento teórico, o autor aplica esta técnica de análise a um caso empírico com dados do IBS ao sector bancário do Chile. Em Chan-Lau et al. (2009) os autores reforçam a utilização do balanço para fazerem uma análise global dos potenciais riscos de contágio. Mencionam também técnicas econométricas, como por exemplo o modelo de correlação de risco entre instituições financeiras o qual explora valores de mercado para concluir a relevância das ligações entre as instituições.

A análise de redes sociais tem sido cada vez mais utilizada nas ciências sociais. E um dos pontos mais estudados tem a ver com a forma como a transmissão de choques é processada através da rede, por exemplo, como uma doença com origem num pequeno conjunto de nós se espalha pelos restantes nós da rede. Mais concretamente, os estudos são baseados na probabilidade de dois nós, escolhidos aleatoriamente, estarem ligados entre si. Um exemplo de um trabalho, na área das ciências sociais, onde se estudou a probabilidade de um determinado nó de uma rede infetar o seu estado para os nós aos quais está ligado, por motivos de transmissão de informação é o de Watts (2002). E como mencionado por alguns autores, por exemplo Grassberger (1983) e Lamerson e Page (2012), um largo espectro de questões que envolvem estudos sociais com base em teoria de redes, têm analogias na Física ou em processos de percolação.

Co-Pierre (2011) apresenta um modelo Multi-Agente dinâmico de um sistema bancário onde os bancos otimizam uma carteira de investimento, uns com risco outros sem risco, de acordo com os seus níveis desejados de risco e liquidez. O objetivo do modelo foi o de obter resposta sobre a capacidade de um banco central para estabilizar o mercado interbancário em diferentes topologias de rede e assim, concluir sobre as topologias mais resilientes bem como saber qual o tipo de risco sistémico é mais devastador para o sistema financeiro, se um choque por contágio ou se através de um choque generalizado de toda a rede. Concluiu que o banco central é fulcral para a estabilidade do sistema. No que toca às topologias, concluiu-se que os efeitos de contágio dependem da estrutura utilizada bem como com os valores de configuração do modelo, não havendo um sentido único definido. Por último, refere que choques generalizados ao nível de toda a rede são mais devastadores para a estabilidade do sistema (Nier et al. (2007) também usaram um choque generalizado na rede, eliminando em todos os bancos do sistema uma parte das suas ativos ilíquidos).

212. Crises de liquidez

Os trabalhos na secção anterior têm uma característica comum que se prende com a análise da crise com origem no lado do ativo do balanço dos bancos. Já Diamond e Dybvig (1998) debruçaram-se sobre o lado do passivo do balanço. Sublinharam a função dos bancos: a transformação de maturidades, isto é a captação de depósitos

(maturidade zero) e a sua canalização para investimentos com maturidade superior a zero. Afirmam que a inexistência de seguro bancário seria uma situação onde o risco estaria melhor dividido. Contudo, deixaria os bancos numa situação vulnerável em caso de “corrida aos depósitos” pois o sistema financeira tem a “corrida aos depósitos” como fonte para o equilíbrio. Sendo assim, são apontados como remédios a suspensão da convertibilidade de maturidades bem como a existência de seguro bancário.

Allen e Galle (1998) também estudaram a questão da “corrida aos depósitos” e identificaram que os custos em bem-estar durante uma crise financeira estão relacionados com a ineficiente venda de ativos por parte dos bancos (*Fire-Sales*), o que origina uma partilha ineficiente dos riscos. Este trabalho tem contudo uma limitação que se prende com o facto de ter sido utilizado um banco como referência incapacitando o modelo de avaliar a fragilidade financeira do sistema.

No trabalho de Freixas et al. (2000) apresenta-se a ideia da necessidade de um mercado interbancário ou de um banco central para impedir a propagação de crises financeiras. O motivo prende-se com a incerteza que existe relativamente às decisões dos depositantes quanto ao momento de tomarem decisões de consumo que possam colocar o banco com problemas de liquidez, aliás problemática usada por Allen e Galle (2000) para criarem a sua potencial origem de choque.

Ainda na linha dos trabalhos que se debruçaram na questão pelo lado do passivo dos balanços dos bancos temos Provenzano (2012). O seu trabalho também é sobre a temática das crises de liquidez motivadas por “corrida aos bancos”. Uma novidade introduzida é a de simular um modelo onde os levantamentos não acontecem todos ao mesmo momento. O objetivo do estudo prendeu-se com a comparação do número de levantamentos levados a cabo na rede no momento de queda do sistema e o tempo que a rede demorou a ficar totalmente infetada, para um conjunto alargado de topologias. As conclusões foram as esperadas, pois com o aumentar da interconnectividade, ambas as variáveis em análise diminuem em valor.

Título	Autor	Ano	Objectivo	Metodologia	Variáveis	Conclusão
1 Assessing the Systemic Implications of Financial Linkages	Jorge Chan-Lau, Marco A Espinosa-Vega, Kay Giesecke, Juan Solé, FMI	2009	Avaliar implicações sistémicas das ligações financeiras	Utilização de 4 modelos complementares com dados agregados por país: 1) Abordagem de Rede; 2) Co-Risk; 3) Matriz de Stress; 4) Modelo de Intensidade de <i>default</i>	Identidade básica do balanço em pré-crise. Em choque de crédito) $\lambda = \% \text{ de perda de capital, em choque de crédito e de fundos adicional } \delta = \% \text{ da diferença de preços entre antes e após crise, dos activos em venda}$	Todos os modelos produziram resultados esperados, ie, em linha com as expectativas iniciais. Apesar das limitações de dados reais, a análise efectuada pode ser vista como fundamental e útil para os reguladores controlarem o sistema financeiro.
2 Network Models and Financial Stability	Erlend Nier, Jing Yang, Tanja Yorulmaz, Amadeo Alentorn, Bank of England	2008	Analisar a estabilidade do sistema financeiro através de um modelo em rede	1) Desenvolver um motor de criação de redes bancárias tendo em conta parâmetros exógenos; 2) Analisar a resistência da rede e qto da resistência da rede depende de variáveis chave	Exógenos: $N = n^o \text{ de bancos e } p = \text{probabilidade de ligação entre "n"s"}$. $Y = \text{Capital líquido em \% do total de activos; } \theta = \% \text{ de activos interbancário no total de activos; } N = n^o \text{ de bancos}$	O estudo foi sobre o impacto das variáveis no número total de defaults. Mas, utilizaram-se 3 perspectivas: 1) Análise de simples, variável a variável; 2) Inclusão de riscos de falta de liquidez para venda dos activos fixos dos bancos em default; 3) Análise de uma estrutura por camadas. As conclusões não se alteram e foram sempre idênticas às obtidas em 1.
3 Moral Hazard in Financial Networks	Per Backman, Frank Nieuwendijk, Master's thesis University of Stockholm	2012	Avaliar o comportamento de um banco, relativamente ao risco por si assumido, num contexto de <i>Moral Hazard</i>	Criação de um modelo onde combinam teoria de redes e teoria de jogos. Simulam a emissão de um ABS e o efeito que o default desse ABS tem no sistema	$\alpha = \text{external default risk; Conjunto de coeficientes: Integração de mercado; Integração do jogador; Integração relativa; de exposição ao risco; tamanho relativo}$	Conclaram que os bancos assumem riscos superiores aos aconselháveis por saberem que não assumirão a totalidade das perdas provocadas pelos seus actos.
4 Contagion and Bank Runs in a Multi-Agent Financial System	Davide Provenzano	2012	Analisar o comportamento de diversos tipos de redes bancárias aos efeitos de um choque de crédito considerando acções distintas por parte dos consumidores e bancos	Criaram-se regras para o comportamento dos bancos e para os consumidores. Simulou-se, a aplicação desses regras em diferentes tipos de rede.	WTD = Withdrawals to Default e TTD = Time to Default	Conclaram que o tipo de rede influencia as variáveis em análise. Diferenciaram o evoluir das variáveis por fonte de contágio. Se devido a "bank runs" ou se só devido à não absorção do choque pelo valor líquido do banco.
5 Balance Sheet Network Analysis of Too-Connected-to-Fail Risk in Global and Domestic Banking Systems	Jorge A. Chan-Lau	2010	Avalia o uso de balanços na análise do risco derivados das interligações em sistemas bancários maduros e de países em vias de desenvolvimentos	Análise do sistema bancário Chileno, através da utilização de dados do IBS. Usou a opção de choque de crédito e choque de liquidez. Distinguir a ideia de "Too-Big-to-Fail" (TBF) de "Too-Connected-to-Fail" (TCIF). Uso de balanços.	Todas as variáveis do balanço	Falhas nos sistemas financeiros da Região Unido e dos EUA, são os mais perigosos para o sistema financeiro a nível mundial. O sistema financeiro do Chile é forte no que toca à questão do TCIF. Chamada de atenção para a credibilidade dos valores nos balanços como ponto negativo da análise abordada.
6 An Agent Based Approach to Interbank Networks and Monetary Policy	Co-Pierre Georg	2011	Responder a 3 questões: 1) Quanto eficiente é o Banco Central em estabilizar o sistema interbancário com diferentes estruturas de mercado em momentos de crise; 2) Quais as estruturas de rede mais resistentes em momentos de crise; 3) Dado um estrutura, que tipo de risco é mais preocupante para a estrutura. Contágio interbancário ou choques comuns	Modelo Multi-Agent Dinâmico de um sistema bancário onde os bancos optimizam um portfólio com produtos de risco e as suas reservas em excesso de acordo com as suas preferências de liquidez e risco. A inclusão de um Banco Central é o factor diferenciador do artigo.	Variáveis do balanço. Taxas de juro implícitas nos empréstimos interbancários, taxas de reservas legais, utilidade do bancos, taxa de acção de activos por parte do Banco Central	A influência do Banco Central (BC) é fundamental para a estabilidade do mercado interbancário. Alterações na taxa de acção de activos por parte do BC, causam um impacto importante nos resultados. O BC é importante no equilíbrio de curto prazo, mas no longo prazo, o equilíbrio obtido é o mesmo que existiria sem o BC.

Tabela 2.1- Resumo dos artigos centrais no desenvolvimento do modelo

Na verdade, as ligações interbancárias têm dois efeitos opostos: Por um lado, podem servir como fonte de contágio, por outro como fonte de absorção e partilha das perdas originadas pelos choques. Neste caso, o que o autor mostra é que com o aumentar do número de ligações, e apesar de existirem mais bancos para partilhar riscos, quando este efeito termina, o número de falências é muito grande.

Um ponto muito importante para as entidades reguladoras prende-se com a necessidade de entenderem a topologia das redes bancárias. Por este motivo surgiram muitos trabalhos que se debruçaram sobre esta questão em diversos países (a topologia das redes interbancárias foi analisada nos EUA (Furfine (1999)), na Zona Euro (Gabrieli (2010), Gabrieli (2011)), no Reino Unido (Wells (2004), Becher et al. (2008)), Brasil (Cajueiro e Tabak (2007), Chang et al. (2008)), Itália (Mistrulli (2007), Iori et al. (2008), Manna and Iazzetta (2009)), Suíça (Sheldon e Maurer (1998)), Suécia (Bl'avarg e Nimander (2002)), Bélgica (Degryse e Nguyen (2007)), na Holanda (van Lelyveld e Liedorp (2004)), Austria (Boss et al. (2004b)) e África do Sul (Brink e Georg (2011))). As evidências empíricas retiradas têm sido extremamente valiosas e ajudam a compreender como o contágio se faz refletir. Contudo, não foi possível encontrar uma topologia generalizada, isto é, um tipo de estrutura de rede que se verifique sempre, pois existem particularidades relativas a cada área geográfica que afetam essa mesma estrutura. Mesmo assim, não deixou de ser indicado o *Scale-free* como a topologia mais verificada (Co-Pierre (2011)).

2.2. *Tipping Points*

Em diversas situações modificações intempestivas dos resultados são induzidas por modificações pequenas nas variáveis sob análise. Gladwell (2007) quando analisou um fenómeno de alteração em tendências de moda, comportamentos sociais e hábitos do quotidiano justificou a existência de *Tipping Points* definindo-os como situações onde existem três características em simultâneo: o contágio, a evidência de pouca coisa provocar grandes resultados e não acontecer de forma gradual mas sim num preciso momento Figura 2.1. Acrescenta ainda, que é a terceira característica a mais importante porque é a que dá sentido às outras duas e que permite uma melhor observação sobre as

razões das mudanças serem o que são. Numa óptica menos formal Gladwell (2007) consegue explicar o objetivo do estudo que esta abordagem abraça.

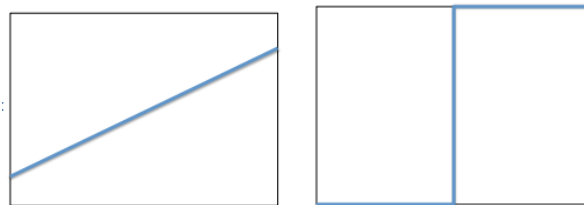


Figura 2.1 - Efeito Linear Vs Tipping Point

Lamerson e Page (2012) confirmam a terceira característica de Gladwell (2007) definindo formalmente *Tipping Points* como uma descontinuidade entre estado atual e estados futuros de um sistema. Enunciam ainda duas situações possíveis: a de um *Tipping Point* direto, que ocorre quando após uma mudança gradual na variável em análise provoca uma mudança grande, isto é, descontínua nessa mesma variável, e um *Tipping Point* contextual, onde uma mudança gradual na variável em análise provoca uma descontinuidade de uma outra variável de interesse.

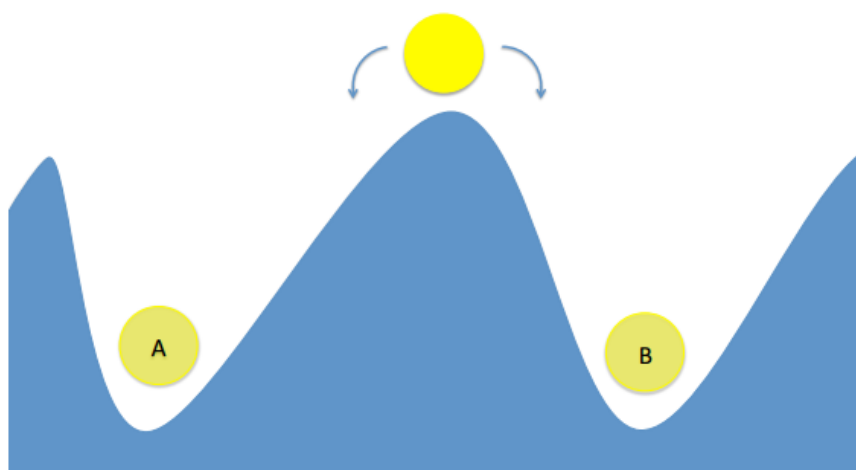


Figura 2.2 - Representação de um Tipping Point

Uma forma de conceptualizar um *Tipping Point* é através da Figura 2.2 e da bola amarela no topo da colina que representa um ponto instável. A bola irá cair para o ponto A ou para o ponto B. O momento quando a bola para no topo da colina é o *Tipping*

Point, porque representa o momento no qual um evento determinará o sentido da bola. Na figura, será o ponto A ou o ponto B, no sistema em análise trata-se do colapso da rede bancária ou a sua salvação.

Duas questões fundamentais sobre *Tipping Points*, são encontrar o momento da sua ocorrência bem como a sua dimensão. O alvo da análise influencia determinantemente o método a utilizar. Greener et al. (2010), no seu estudo relativo à dívida pública, no qual se propuseram descobrir um momento a partir do qual esta poderia colocar em causa o crescimento económico, obtiveram o seu *Tipping Point* através da análise estatística de uma série de dados relativos ao rácio Dívida pública - PIB respeitante a um conjunto de países selecionados. Neste caso, a forma de obtenção do *Tipping Ponto* foi bastante informal não encontrando os autores necessidade de um rigor extremo. Já Lamerson e Page (2012) apresentam métodos de muita precisão, mas não os enquadram em qualquer situação específica. Os autores propõem em primeiro lugar a utilização da divergência de Kullback-Leibler ou em substituição, a divergência de Jensen-Shannon.

3. Capítulo – (MOTIPO) Modelo Multi-Agente de Obtenção de *Tipping Points* em Crises Bancárias.

O presente capítulo tem como intenção a apresentação do modelo criado. Inicia-se com os motivos principais que incentivaram a utilização de um processo Multi-Agente, seguindo-se a formalização matemática. Mostram-se as variáveis do modelo, as suas definições e as suas regras.

3.1. Sistemas Multi-Agente

Simular é uma forma particular de modelar. Um modelo é uma simplificação da realidade, e uma forma bem reconhecida de a perceber. A simulação tem *inputs* fornecidos pelo investigador com o intuito de obter *outputs*. Existem diversas vantagens para simular entre elas (Gilber e Troitzsch (199)):

- Para melhor conhecer o mundo – simulação é modelar uma realidade e assim sendo, pode ser utilizada para a perceber melhor;
- Previsão – Se for construída um modelo que reproduza a dinâmica de um determinado comportamento, pode-se então simular a passagem do tempo e assim prever o futuro;
- Providenciar ferramentas para substituir capacidades humanas – Sistemas específicos foram desenvolvidos para simular capacidades técnicas em determinadas áreas (geologia, química, medicina). Estes sistemas, podem mais tarde ser usados por pessoas que não possuem estes conhecimentos específicos;
- Formação – Simuladores de voo podem ser utilizados para treinar pilotos; a simulação de uma economia também poderá ser utilizada pra formar economistas a prever mudanças em variáveis chave em Macroeconomia;
- Entretenimento – Jogos, simuladores de voo, são usados em formação mas também em diversão.

Na literatura relativa a sistemas Multi-Agente, os agentes são habitualmente vistos como entidades que vivem num determinado ambiente e que são capazes de interagir com outros agentes. Os agentes são frequentemente caracterizados por:

- **Ações e Interações** – Os agentes interagem com outros indivíduos e com o ambiente. As ações modificam o ambiente do agente e as suas decisões futuras;
- **Comunicações** com outros agentes – a forma principal como os agentes interagem;
- **Objetivos individuais e Autonomia** - os agentes não são orientados por comandos provenientes de outro utilizados mas antes por um conjunto de tendências, as quais podem tomar a forma de objetivos individuais ou satisfação, ou funções de sobrevivência que os agentes tentam maximizar;
- **Percepção (limitada)** – os agentes têm uma representação limitada ou parcial do ambiente onde vivem. Dito de outra forma, eles não têm uma percepção total de tudo o que se está a passar à sua volta. É habitualmente assumido que eles têm uma “racionalidade limitada” no sentido em que usam recurso computacionais limitados para aperceberem as consequências do que foi realizado.

Segundo Tesfatsion (2005) as vantagens da utilização de processos Multi-Agente, mais concretamente o ACE, passam pelo focar mais no processo de interação entre os agentes do que procurar o equilíbrio clássico da ciência económica, deixando este de ser necessário para a modelização da realidade pretendida. Os agentes podem comunicar com outros agentes em momentos programados para tal, mas onde as mensagens podem ser criadas e adaptadas por eles próprios. Na opinião de Jennings (2000) a vantagem dos processos Multi-Agente pode ser resumida à facilidade em doar autonomia as agentes.

Este processo requer a construção de um sistema dinâmico, isto é, a partir de um conjunto inicial de condições, o modelo deverá permitir e suportar a possibilidade a interação entre agentes ao longo do tempo, sem qualquer intervenção adicional do utilizador. Para que assim seja possível, os processos Multi-Agente requerem especificações detalhadas para os atributos dos agentes, bem como os métodos para facultar atributos estruturais, configuração do ambiente e condições de comportamento.

Se as interações entre agentes induzirem alterações significativas nos atributos dos agentes, pequenas alterações nas especificações iniciais poderão afetar radicalmente os resultados finais do modelo. Assim sendo, deverão ser conduzidas diversas experiências para um raio de valores plausíveis para as variáveis em análise para se obter uma previsão robusta. A validação dos resultados é uma parte importante dos processos Multi-Agente. É verdade que estes processos produzem resultados para sistemas económicos com fundamentações sólidas ao nível do micro comportamento e articulação entre agentes. Mas, mesmo que o modelo seja capaz de produzir resultados que totalmente incutem a realidade que tenta reproduzir é quase sempre impossível fazer a validação dos resultados – nomeadamente através dos processos estatísticos normais. Esta questão poderá ser considerada como uma desvantagem do ACE (Tsfatsion (2005))

3.2. A abordagem

O modelo é composto por três tipos de agentes: bancos, consumidores e banco central. Cada um destes agentes é representado por um nó, com a exceção do banco central que tem uma função de supervisão. Relativamente aos bancos, todos têm pelo menos uma ligação a um outro banco. No que concerne aos consumidores, estes ligam-se aos bancos através dos seus depósitos, que podem ser no máximo três. As ligações entre bancos e clientes a bancos são representadas por arestas. Apesar de a simulação ter em conta a possibilidade de um consumidor influenciar outro no que respeita a levantamentos, por uma questão de simplificação visual, não foram criadas arestas para mostrar esta ideia. Os nós amarelos representam os bancos, os nós brancos representam os consumidores. As arestas vermelhas ligam bancos a bancos enquanto as arestas verdes ligam clientes a bancos Figura 3.1.

Foi sobre o conceito de *Tipping Points* (TP) (ver a secção 2.2 para definição de TP) que este estudo recaiu. Procurou-se obter respostas para mudanças nas variáveis exógenas do modelo. Assim, se por exemplo, com uma pequena alteração das variáveis passarmos de um sistema com capacidade de absorver o choque inicial para um sistema em que nenhum banco no sistema resiste então, encontramos um *Tipping Point*.

No intuito de criar um modelo no qual pudesse analisar TP num sistema bancário que estivesse numa situação semelhante à crise financeira de 2008, efetuou-se uma revisão de literatura, identificando-se um conjunto de artigos, resumidos na Tabela 2.1 como fonte de inspiração para a construção da abordagem.

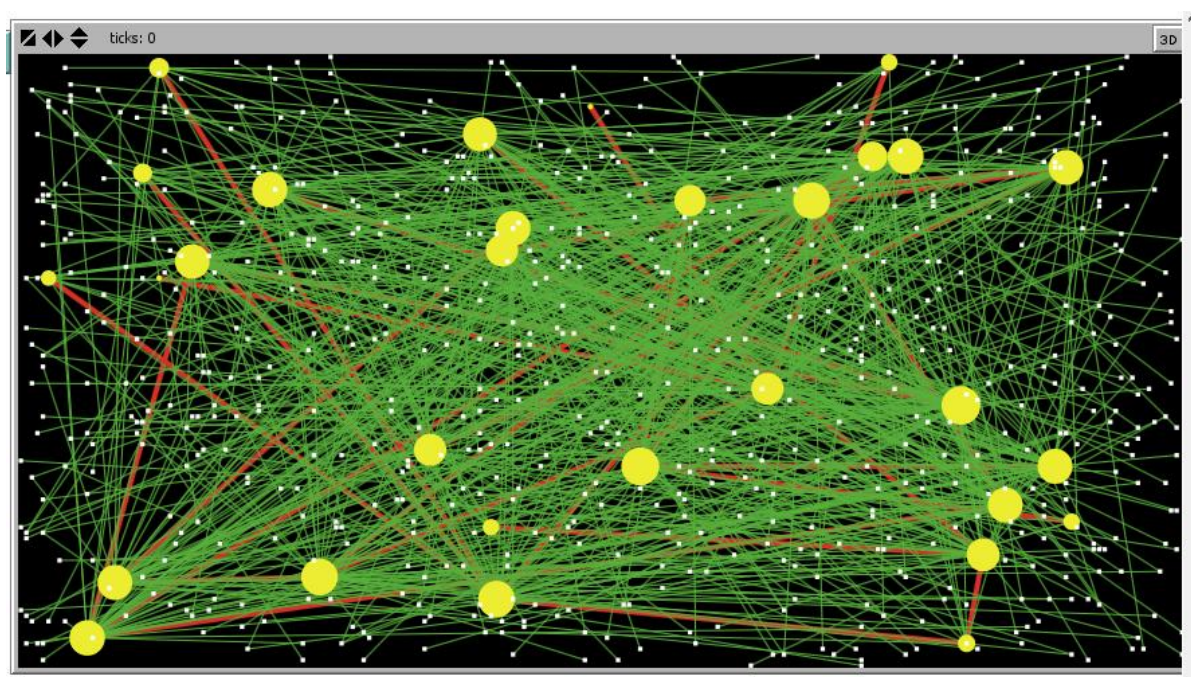


Figura 3.1 - Representação da Rede

A principal questão da aderência dos modelos propostos pelos diversos autores que se dedicam ao tema das crises financeiras e mais concretamente, das crises com origem no sistema bancário, é a disponibilidade de dados. Infelizmente, não existem dados disponíveis para este estudo. Os relatórios e contas dos bancos não fornecem a informação necessária nomeadamente ao nível da participação de cada instituição no mercado interbancário. Mas, mesmo ao nível do número de contas por cliente, a informação prestada é insuficiente.

Os dados dos bancos tornam-se, assim, impossíveis de serem interpretados por estarem agregados. As justificações são muito variadas, mas resumidamente, passam pelo facto de se tratar de dados de elevada sensibilidade comercial (os dados ao nível dos empréstimos interbancários) e de cariz privado (os dados ao nível dos clientes).

Contudo, os bancos têm obrigações de reporte à autoridade de supervisão da sua atividade. E, alguns países (Portugal incluído) reportam ainda a entidades internacionais, como é o caso do *Bank for International Settlements* (BIS). Sendo assim, para alguns autores, a única possibilidade de utilizar dados reais, passou pelo uso dos dados agregados por país disponíveis pelo BIS. Foi assim que Chan-Lau (2009a) e Chan-Lau et al. (2009) procederam em publicações do FMI como por exemplo o “*Global Financial Stability Report*”. Contudo, para a criação de um sistema Multi-Agente seria necessário a utilização de um conjunto de dados individuais para cada agente banco e agente consumidor, o que infelizmente não é possível como já explicado. Sendo assim, a forma restante para analisar esta temática passa pela criação de um modelo onde se utiliza relações algébricas de representação dos balanços dos bancos, respeitando a identidade fundamental, $\text{Ativo} = \text{Passivo} + \text{Capital}$ e relações funcionais normais no sistema financeiro, como por exemplo o rácio de reservas legais ou o rácio de solvabilidade. Esta lógica foi seguida por diversos autores, nomeadamente Nier et al. (2007) e Provenzano (2012). Em coerência, a presente abordagem, segue a mesma lógica da criação algébrica do balanço, estando o modelo desenvolvido mais próximo do de Provenzano (2012) pelo facto de integrar agentes consumidores no sistema.

Como a questão da topologia não é um objetivo do estudo, optou-se por uma rede em *Scale-free*, isto é, uma rede caracterizada por um pequeno conjunto de grandes bancos com muitas ligações e um conjunto maior de bancos com poucas ligações. O motivo prende-se com o facto de que de acordo com diversos estudos empíricos sobre a forma organizacional das redes bancárias para diversos países foi esta a topologia mais verificada (Co-Pierre (2011)). De facto, bancos maiores terão mais recursos para agregar mais negócio, quer ao nível de relações com outros bancos, quer ao nível de angariação de novos clientes. Por outro lado, bancos mais pequenos terão menor probabilidade de transmitir um elevado nível de segurança a potenciais clientes.

3.3. Vantagens da abordagem face à literatura de referência

Nas redes bancárias existem três tipos de agentes: Os bancos, os consumidores e o banco central, interpretado como a autoridade de regulação do sistema. Como referido

anteriormente, existem diversos estudos sobre esta temática. Contudo, nenhum é capaz de incluir os três agentes mencionados de forma tão definida como nesta abordagem. Na verdade, tirando o estudo de Co-Pierre (2011), nenhum outro artigo incluí os três agentes. Mas, mesmo naquele estudo, os consumidores são interpretados como tendo um comportamento estocástico, não dando o autor um sentido definido à sua atuação. Na opinião do autor, a presença dos três tipos de agente é uma vantagem pois é possível criar um sistema mais aderente com a realidade. Com o intuito de trazer inovação à análise desta temática, definiram-se comportamentos para os três agentes:

- Os bancos estão organizados segundo uma rede em *Scale-free*, onde um conjunto pequeno de bancos concentrará a maior parte da atividade, quer ao nível do mercado interbancário quer ao nível de consumidores. Têm um balanço representativo da sua situação financeira, atualizado a cada passo da simulação. Cumprem regras definidas pelas autoridades, quer ao nível de reservas legais, quer ao nível de solvabilidade. No seu ativo, os bancos têm registado as posições credoras em outras instituições (dinheiro emprestado a outros bancos), bem como investimentos em ativos ilíquidos e reservas obrigatórias. No seu passivo, têm registado as posições devedoras (dinheiro concedido por outros bancos), depósitos de clientes e o capital Figura 3.2. Um qualquer banco sairá do sistema sempre que o seu capital seja negativo.
- Os consumidores têm depósitos junto dos bancos. Assume-se que podem ter um máximo de três contas. Deu-se, contudo, um peso maior à possibilidade de terem menos contas, mas com um mínimo de uma¹. Os consumidores depositam a totalidade das suas economias, mas no mesmo montante em cada conta. Cada depósito é de uma unidade monetária². No caso de levantamento, assume-se também que serão fechadas todas as contas abertas. Durante a simulação só existe um momento de criação de contas bancárias, que é no momento inicial. A partir desse instante, só é assumido a possibilidade de levantamento, pois a ideia é simular uma situação de crise. Os consumidores são dotados de uma

¹ O número de contas por clientes ficou-se pelo intervalo de 1 a 3. Chegou-se a este intervalo através da consulta do Boletim Informativos de 2011 da Associação de Bancos Portugueses bem como do “*Financial Sector Development Indicators*” de 2006 do Banco Mundial.

² Segundos os estudos apresentados na nota de rodapé nº 1, o possuir de um maior número de contas bancárias está associado a uma maior posse de riqueza.

probabilidade de levantarem os seus depósitos. Mas, a sua principal característica é terem a capacidade de influenciar outros consumidores a levantarem também os seus depósitos, isto é, têm uma capacidade de recrutamento Kirman (1993). A ideia é tentar simular uma “corridas ao bancos”, isto é, tentar estudar a reação da rede a momentos onde os depositantes tentam retirar de uma forma massiva, por vezes até, irracional, as suas poupanças dos bancos, precipitando o ruir do sistema.

Investimentos	Capital
Empréstimos a outros bancos	Depósitos de Clientes
Reservas	Empréstimos de outros bancos

Figura 3.2 - Balaço típico de um banco no sistema

- O banco central tem a função de entidade de recurso de última instância. Quando um banco estiver com uma situação líquida negativa e portanto prestes a ser eliminado da rede, pode-se ainda tentar apelar a uma injeção de capital do banco central. Contudo, o empréstimo está limitado a uma parte dos investimentos ilíquidos do banco. No fundo, o objetivo será o banco central separar os investimentos saudáveis dos menos saudáveis, sendo os primeiros dados como colateral do empréstimo.

Apresentada a forma como os diferentes agentes participantes no sistema estão enquadrados, pode-se concluir que existe uma clara tentativa de inovação neste género de análise, que é apresenta na questão da junção dos três agentes numa só simulação, na

definição de micro comportamentos de todos os grupos de agentes, não meramente estocásticos, e principalmente no objetivo da análise, isto é, no encontrar de TP por choques de crédito e de liquidez que provoquem risco sistémico.

Os tipos de choques analisados pelos diferentes autores podem-se resumir a choques do lado do ativo, chamados choque de crédito e choques do lado do passivo, choques de liquidez. Apesar de ambos estarem intrinsecamente ligados pelas relações contabilísticas que os balanços dos bancos sintetizam, a verdade é que os autores tentam separar claramente o âmbito do seu estudo a estes dos dois tipos de choques. Temos o exemplo de Allen e Gale (1998) ou Nier et al. (2007) com choques de crédito, ou então Co-Pierre (2011) ou Provenzano (2012), com choques de liquidez, como apresentado no Capítulo 2. Nesta abordagem pretendeu-se ir mais longe e juntar os dois choques, pois na verdade, após um choque de liquidez costuma-se ter um choque de crédito. Trata-se, portanto, de uma vantagem adicional da abordagem aqui estudada, isto é, o permitir estudar ambos os tipos de choques aproveitando o facto de o sistema incluir os três agentes, bancos, consumidores e banco central e não somente um ou dois dos mencionados, como é normal na maioria dos trabalhos referenciados.

Relativamente aos choques de crédito, pretende-se representar as perdas que um determinado banco incorreria pela perda de fundos que estavam depositados noutra instituição, por falência desta Figura 3.4. Como a possibilidade de recuperação dos fundos perdida, terá de haver uma compensação na identidade do balanço através de uma redução do capital social Figura 3.5.

Ativos	Capital
	Passivo

Figura 3.3 - Balanço simplificado

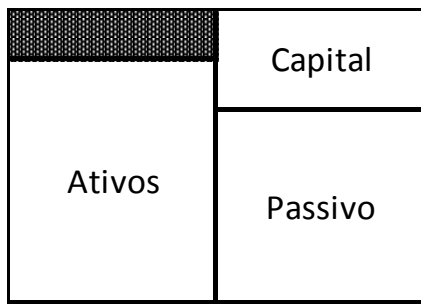


Figura 3.4 - Redução do Ativo

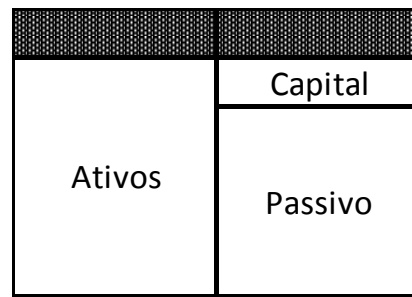


Figura 3.5 - Redução do Capital

Pode-se então dizer que um banco estará numa situação de falência se:

$$Capital - \sum Fundos\ perdid\os < 0 \quad (3.1)$$

Já um choque de liquidez está relacionado com levantamentos repentinos de fundos. Como os ativos do balanço são suportados pelas fontes de financiamento registados do lado do passivo, senão existir uma substituição destas fontes ter-se-á uma redução do balanço. Numa situação normal de mercado o montante de ativos que o banco terá de vender será igual ao montante das perdas de financiamento e o capital do banco não é afetado, para além de diminuir o rácio de solvabilidade, decrescendo as possibilidades de insolvência do banco (Chan-Lau (2009a)) Figura 3.6.

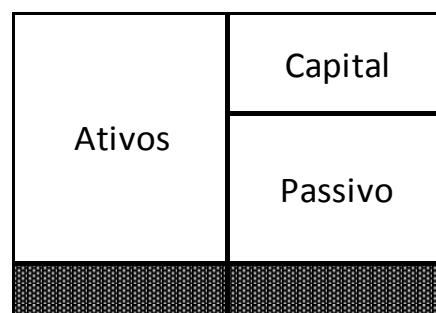
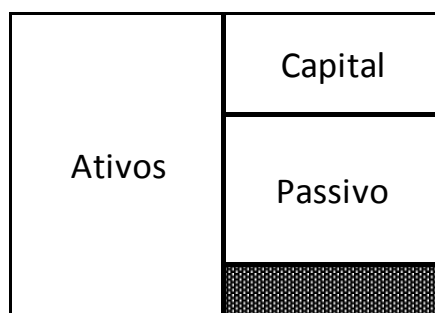


Figura 3.6 - Choque de Liquidez em situação normal de mercado

Contudo, podemos estar numa situação anormal de mercado, onde os ativos são vendidos a um preço inferior ao do seu valor (venda em stress ou *Fire-Sale*). Isto costuma acontecer quando o mercado está com falta de liquidez, os ativos são muito ilíquidos ou quando o banco possuiu grandes quantidades de um mesmo tipo de ativo (Hagen (2009)). Sendo assim, o banco vê-se obrigado a vender ativos num montante superior ao da redução de liquidez.

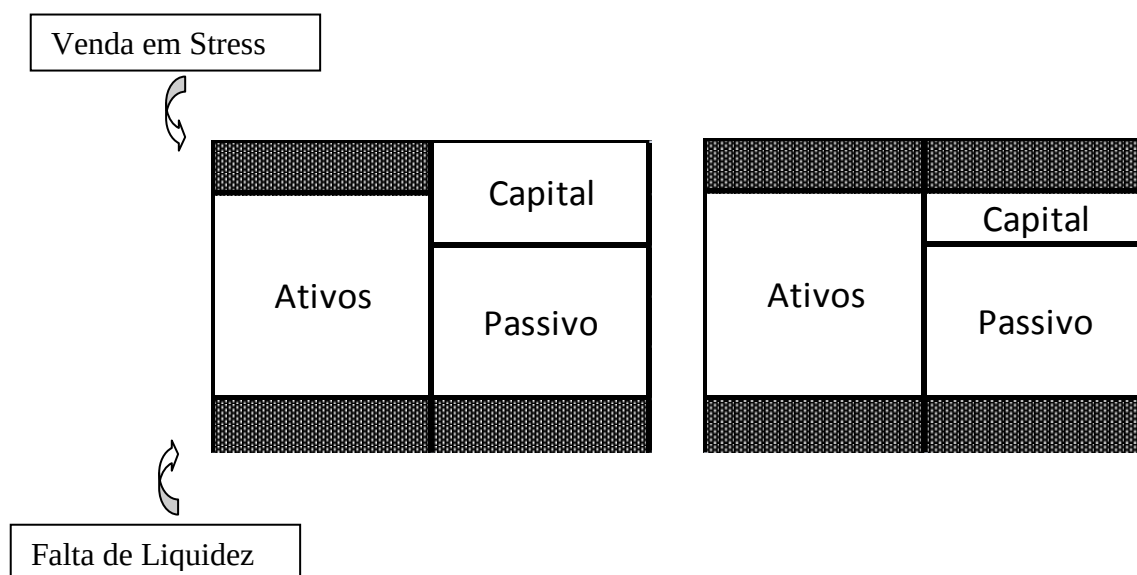


Figura 3.7 - Choque de Liquidez em situação anormal de mercado

Se o financiamento das perdas não conseguir ser suportado pelo capital social do banco, este ficará numa situação de insolvência. E, se assim for teremos novo choque de crédito e de liquidez para outras instituições. Pode-se resumir a posição líquida de um banco da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \text{Capital} - \sum \text{Fundos perdidos} - \\ & \sum \text{Perdas de financiamento} * \text{grau de stress no mercado} < 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Por último, houve mais um ponto em análise, a questão do risco moral ou *Moral Hazard*. O objetivo da inclusão deste conceito foi o de medir o efeito da capacidade dos bancos suportarem choques se conduzirem uma política de investimento demasiadamente agressiva. No fundo, a questão do risco moral é extramente complexa e de uma importância central na temática das crises financeiras. Markose et al. (2012) analisa a questão do risco moral através dos complexos produtos derivados *Credit Default Swaps* (CDS) aplicadas aos também sofisticados derivados *Residential Mortgage backed Securities* (RMBS). Enquadrou a utilização destes produtos na topologia das redes encontradas na estrutura do sistema financeiro dos Estados Unidos da América e analisou se a estrutura da rede era propícia ao contágio entre bancos, caso os produtos fizessem *default*. No mesmo sentido Backman e Nieuwendijk (2012) analisaram as decisões de investimento de um conjunto de bancos, assumindo que todos tomariam mais risco do que aquele que seriam capazes de segurar em caso de surgir um choque no sistema. Apesar de a temática do risco moral ser versada de forma leve nesta abordagem, é importante a sua presença para alargar o campo de análise do modelo e considera-se como uma mais-valia.

A topologia utilizada, *Scale-Free* é também uma vantagem desta abordagem por ser a mais verificada na realidade (ver secção 3.2. Assim, na configuração inicial do modelo é possível seleccionar a situação de uma rede enviesada. Como os agentes são criados de forma sequencial na simulação, tende-se a dar uma probabilidade superior a um banco com mais ligações de receber a ligação de um banco recém-nascido. Da parte dos consumidores, estes tenderão a preferir bancos com mais ligações e com mais clientes.

Na opção de escolha enviesada, a visualização dos bancos mais fortes na rede é facilitada pelo facto destes terem uma dimensão superior aos bancos com menor número de ligações (ver Figura 3.1).

A existência da possibilidade da criação de uma rede de bancos onde uns têm mais ligações que outros, sendo essa característica interpretada como uma aproximação ao mundo real e por isso uma vantagem adicional desta abordagem, serve por um lado, para criar bancos com características diferentes que por sua vez terão um impacto distinto na rede e por outro, para distanciar- de outros trabalhos onde, neste ponto, foi escolhido a opção da simplificação.

Nota-se que não existem bancos isolados, visto que para os objetivos pretendidos com esta simulação – o derrubar ou não da rede bancária em análise – essa situação, não fizesse sentido.

Como já explicado, a forma como os bancos e os consumidores são introduzidos no sistema é idêntica, isto é, podem ser introduzidos de forma enviesada ou aleatória. Contudo, quando a escolha é feita, esta abrange os dois tipos de agentes. Não é possível termos bancos criados de forma enviesada e consumidores de forma aleatória.

Ainda relativamente às ligações dos consumidores aos bancos considerou-se que nenhum poderia ter mais do que três contas bancárias, mas terá necessariamente, pelo menos umas. Considerou-se como uma variável aleatória a distribuição de número de contas por consumidor, sendo que o número médio de contas por indivíduo é aproximadamente uma. Sendo assim, deu-se um peso maior à possibilidade de um determinado consumidor ter somente uma conta bancária Tabela 3.1.

Um outro ponto a realçar sobre as ligações existentes no sistema é que a aresta que une dois nós, sejam os dois nós bancos ou um banco e um consumidor, esta admite fluxos nos dois sentidos, não sendo contudo obrigatório.

Número de Contas	Probabilidade
1	80 %
2	15 %
3	5 %

Tabela 3.1- Frequência relativa da V.A. "Contas Bancárias"

3.4. Formalização do Modelo

A identidade fundamental de um balanço é dada pela equação (3.3). Ela traduz um equilíbrio entre a origem de recursos, o Passivo P acrescido do Capital C e o destino desses recursos, o Ativo A.

$$A = P + C \quad (3.3)$$

Os bancos presentes no sistema vão estar interligados entre si. Essa ligação pode derivar da atividade operacional normal dos bancos bem como de interações no mercado interbancário, onde todos os bancos poderão participar. Será no balanço de cada banco que ficarão registradas as posições que assumem motivadas pela sua atividade normal como no mercado interbancário, ficando inscrito do lado do ativo as posições credores e do lado do passivo as posições devedoras.

Assim, o balanço do banco b_i terá inscrito do lado do Ativo os empréstimos interbancários concedidos IB_i^C , as reservas excedentárias que colocou no mercado como investimentos Iv_i^3 e obrigações legais OL_i^4 . Sendo A_i o ativo do banco i , $i = 1, \dots, B$ então $A_i = IB_i^C + Iv_i + OL_i$

O montante total dos empréstimos interbancários concedidos pelo banco b_i no momento t é dado por:

$$IB_i^c(t) = \sum_j \pi_{ij}(t) \quad (3.4)$$

onde π_{ij} representa o montante emprestado pelo banco b_i ao banco b_j . Assume-se que os bancos com quem o banco b_i mantém posições credoras possuem igual montante de capital emprestado.

³ Como exemplos de investimentos em ativos ilíquidos entenda-se a participação na atividade produtivo, empréstimos hipotecários ou mesmo bens de elevado valor. A origem dos fundos que compõem esta rubrica não deriva dos consumidores participantes no sistema apresentado.

⁴ As obrigações legais podem ficar ausentes do ativo se admitir-se que as mesmas ficam depositadas junto do Banco Central. Por uma questão de simplificação na exposição ficarão representadas no balanço.

$$\pi_{ij}(t) = \mu D_i(t) / n \quad (3.5)$$

A expressão (3.5) mostra que o montante que o banco b_i coloca no mercado interbancário no momento t é uma fração dos depósitos dos clientes $D_i(t)$. É retida uma fração $1 - \mu$ para segurança de risco de liquidez interbancário. O número total de bancos com posições devedoras com o banco b_i é dado por n .

Do lado das responsabilidades do banco b_i iremos ter os depósitos dos clientes D_i , e as posições interbancárias devedoras IB_i^D que representam as responsabilidades de curto prazo e o capital C_i^5 .

$$IB_i^D(t) = \sum_i \pi_{ji}(t) \quad (3.6)$$

O balanço do banco b_i pode então ser apresentado como:

$$IB_i^C + Iv_i + OL_i = D_i + IB_i^D + C_i \quad (3.7)$$

O C e as OL têm contudo que respeitar as seguintes condições, nomeadamente um rácio de solvabilidade ω e um rácio de reservas φ^6 :

$$\omega_i \leq \frac{C_i}{IB_i^C(t) + Iv_i(t) + OL_i(t)} = \frac{C_i}{IB_i^D(t) + D_i(t) + C_i(t)} \quad (3.8)$$

$$\varphi_i \leq \frac{OL_i(t)}{D_i(t) + IB_i^D(t)} \quad (3.9)$$

⁵ Esta rubrica poderá ser dividida em duas parcelas: Uma compondo o C detida pelos acionistas originais do banco e outra detida pelo banco central. Ver a expressão (3.10)

⁶ Estes rácios serão verificados no início da simulação indicando uma situação de equilíbrio. Contudo, poderão não ser cumpridos durante o decorrer da simulação visto o fenómeno em análise decorrer num curto espaço de tempo.

3.5. O Banco Central

Os bancos centrais têm um papel importante na estabilização do sistema financeiro na sua zona de jurisdição, nomeadamente como financiador de último recurso. Assim sendo, fazer uma análise de risco sistémico numa rede sem incluir o potencial de resolução que um banco central possuiu, seria diminuir a aderência do modelo à realidade, mesmo que esta inclusão seja feita em moldes simples.

Neste modelo a participação do banco central ocorrerá nas situações onde o(s) banco(s) do sistema não consigam cumprir a expressão (3.12), isto é, estejam numa situação onde o seu capital é negativo entrando para a estrutura do banco por contrapartida de um aumento do IB_i^C .

$$BC_i^D(t) = \min(NF(t), \alpha * Iv_i(t)) \quad (3.10)$$

A expressão (3.10) mostra que o banco central estará na disposição de entrar para o capital do banco em stress financeiro no montante da necessidade de financiamento NF ou então num montante máximo, relativamente ao total dos investimentos em ativos ilíquidos, de α .

3.6. Os consumidores

O modelo apresentado conta com a participação de um conjunto de consumidores. Estes consumidores, para além de trazerem mais realidade ao modelo, têm como função criar a possibilidade de uma “corrida aos bancos”, isto é, um levantamento em massa dos depósitos. Esta situação conduz os consumidores que fizeram levantamentos a poderem influenciar outros a tomarem a mesma decisão. Esta característica tem como finalidade representar a possibilidade de uma situação de pânico, onde apesar de a informação que os clientes têm sobre o estado financeiro dos bancos onde tem depositado o seu dinheiro ser insuficiente, preferem adotar uma medida de segurança.

Uma fonte de risco para a estabilidade dos sistemas bancários é explicada pelo conceito de *Moral Hazard*⁷. Apesar de não existir qualquer seguro bancário explícito neste modelo, se os bancos acreditarem que parte dos depósitos dos clientes não irão ser levantados, por estes acharem que aqueles estão seguros, os bancos poderão ter a tentação de aumentar a sua rentabilidade através da realização de mais investimentos. Como forma de manter o modelo simples e porque não é um alvo da análise os possíveis retornos dos investimentos efetuados, mas antes o descuidar dos mecanismos de segurança de solvabilidade dos bancos, esta possibilidade é modelizada através de uma transferência, total ou parcial, do montante em OL para IB_i^C não cumprindo a expressão (3.9)⁸ no momento inicial da simulação. Optou-se por transferir para IB_i^C e não, por exemplo, para Iv_i porque na simulação não é incluído a possibilidade de existir retornos nos investimentos por motivos de simplificação. Desta forma, ao incluir-se este montante no mercado interbancário está a criar-se risco visto que o valor pode não ser recuperado em caso de falência de um banco recetor de empréstimos. Se acontecer este cenário, a necessidade de venda de investimentos ilíquidos será superior comparativamente à situação de não existência deste mecanismo, provocando uma necessidade maior de capital para equilibrar o balanço.

Os depósitos dos clientes, representado por $A(t)$, têm maturidade zero, isto é, podem ser reclamados a qualquer momento. A probabilidade $P(CS)$ de um cliente retirar o seu dinheiro de um banco segue uma vontade individual ρ e outra r coletiva, conforme se pode perceber pela expressão (3.11). Este mecanismo é utilizado no fim de cada momento da simulação, isto é, a sua primeira utilização ocorrerá no final do primeiro momento da simulação.

$$P(CS)_i^t = L \left(\frac{A(t)}{CS} \right) = \frac{A(t)}{CS} \left[\frac{\rho}{CS} + r \left(1 - \frac{A(t)}{CS} \right) \right] \text{ com } CS_i \notin BA \quad (3.11)$$

⁷ O conceito de *Moral Hazard* (ou risco moral) está relacionado com a ideia de um agente económico, no modelo, os bancos, assumirem mais riscos do que aqueles que normalmente deveriam assumir. Essa atitude deve-se à crença de que em caso de constrangimentos não terá de assumir a totalidade dos custos provocados pela sua decisão, Dembe e Boden (2000), Hale (2009).

⁸ Trata-se realmente de uma simplificação da realidade para tornar possível a modelização tal como está apresentada, pois os valores inscritos como Reservas não deverão ser alterados por se tratar de uma obrigação legal (ver <http://www.ecb.int/mopo/implement/mr/html/index.en.html>). Geralmente esta análise é efetuada através do examinar da carteira de investimentos dos bancos, procurando produtos de grande risco e/ou complexidade (Markose et al (2010) e Markose (2010)).

Assume-se que cada consumidor deposita uma unidade monetária em cada uma das contas que possui e assume-se também, que quando um consumidor toma a decisão de retirar-se do sistema, este é feito na totalidade da sua riqueza, isto é, retira todo o seu dinheiro e fecha todas as contas⁹. Assume-se ainda, que após o momento inicial, não há novos depósitos.

3.7. Simulação

Como todos os bancos estão ligados entre si – uns diretamente outros indiretamente - uma falência provocará obrigatoriamente perdas nos bancos com quem têm relações comerciais e/ou institucionais de primeiro grau. E estes, por sua vez, provocarão o mesmo impacto nos bancos com quem têm relações comerciais e/ou institucionais em primeiro grau. Da mesma forma, com a falência do primeiro banco, surgirão perdas para os consumidores que induzirão outros consumidores a resgatar os seus depósitos, com medo que o mesmo possa acontecer aos bancos que guardam as suas poupanças, dando assim início a problemas de liquidez no sistema.

A resiliência da rede bancária será testada passo a passo. Num primeiro momento, temos a criação da rede bancária como foi descrita em 3.2 na qual todos os bancos são solventes. Após a seleção de um banco a retirar do sistema – entendido como o banco que dá início à crise - este provocará, obrigatoriamente, perdas para os bancos com quem tem uma relação direta, em dimensões distintas mediante as características de cada ligação. Este primeiro acontecimento, afeta o ativo dos bancos e é habitualmente classificado como um choque de crédito que terá de ser compensado com uma diminuição do capital do banco. Estamos num ponto intermédio entre o momento inicial e o segundo momento. Com a incerteza a apoderar-se no sistema, os consumidores tomarão as suas decisões quanto a resgatarem ou não os seus depósitos começando a afetar o passivo dos bancos. O levantamento de depósitos dos consumidores alterará as disponibilidades dos bancos intervirem no mercado interbancário, encolhendo-o, originando necessidades de liquidez. Estas, ao não serem compensadas por fundos do próprio sistema, causam a necessidade dos bancos terem de vender parte dos seus

⁹ Recorda-se que a existência da ideia de um seguro bancário serve simplesmente para testar a questão do *Moral Hazard*.

investimentos Iv_i com uma consequente compensação ao nível do capital. É que, para além dos consumidores, os bancos que participam no mercado interbancário, terão receio de emprestar fundos aos bancos necessitados. Uma vez atualizado as variáveis do balanço, termina o primeiro momento. O segundo momento terá o seu início com uma nova vaga de falências, atuando o modelo como explicado para o primeiro momento e assim sucessivamente até não existirem mais bancos no sistema. Contudo, se as falências terminarem a simulação termina também com a conclusão de que o sistema foi capaz de absorver o choque inicial. É de salientar que o rácio de solvabilidade dos bancos afetados não cumprirá o valor mínimo de ω como apresentado na expressão (3.8) devendo-se, esse facto ser corrigido num prazo superior ao que se supõe a simulação demorar.

Em suma, o modelo tem como objetivo verificar a existência de *Tipping Points* no caso de a rede bancária apresentar risco sistémico, através da variação de um conjunto de variáveis exógenas, com princípio num choque de crédito (afetando o ativo do banco) que origina com o desenrolar de eventos, um choque de liquidez (afetando o passivo do banco, via levantamentos dos depósitos dos consumidores e ajustes dos créditos e responsabilidades no mercado interbancário, seguindo-se de uma possível necessidade de alienar alguns dos investimentos em ativos ilíquidos (*Fire-Sale*)¹⁰).

3.8. Formalização das falências

Após a falência do banco selecionado para dar início à simulação (momento 0), iremos ter um desenrolar de eventos que levarão a uma alteração dos valores nas diferentes rubricas do balanço dos bancos, bem como, uma atualização da participação dos consumidores no sistema. Cada banco terá uma liquidez individual dada pela expressão (3.12)

$$S_i(t) = IB_i^C(t) + Iv_i(t) + OL_i(t) - (D_i(t) + IB_i^D(t) + C_i(t)) \quad (3.12)$$

Se situação líquida do banco b_i for $S_i(t) \geq 0$, então o banco é líquido e poderá continuar no sistema. Já para os bancos que tiverem uma situação líquida $S_i(t) < 0$

¹⁰ O termo *Fire-Sale* refere-se a uma venda dos ativos ilíquidos a um preço inferior ao valor de mercado.

estarão numa situação de falência. Nesta condição, a única solução para permanecer no sistema será conseguirem um financiamento do banco central, de acordo com a expressão (3.10) . Se esse não for o caso, serão eliminados. O montante do empréstimo do banco central é igual a:

$$NF_i(t) = S_i(t), \quad \text{se } S_i(t) < \alpha * Iv_i(t) \quad (3.13)$$

Se, no final de um determinado momento, não tiver acontecido qualquer nova falência, a simulação terminará. Por este motivo, a expressão (3.12) pode ser considerada como central.

Contudo, entre um momento t e o momento $t+1$ há um momento intermédio, definido como $\tilde{t}$. Este momento refere-se à atualização dos balanços motivados pelo choque de crédito no momento t . Os balanços dos bancos diretamente relacionados com o(s) banco(s) falidos serão alterados em todas rubricas exceto Iv_i e IB_i^D .

$$\widetilde{IB}_i^C + Iv_i + \widetilde{OL}_i = \widetilde{D}_i + IB_i^D + \widetilde{C}_i \quad (3.14)$$

Depois deste passo intermédio, teremos a atualização dos balanços provocados pela crise de liquidez e resulta no balanço inicial do momento $t+1$ (3.15) .

$$IB_{(t+1)i}^C + Iv_{i(t+1)} + OL_{i(t+1)} = D_{i(t+1)} + IB_{i(t+1)}^D + C_{i(t+1)} \quad (3.15)$$

A venda de ativos ilíquidos para compensação das perdas em fundos provenientes do mercado interbancário, será feita a desconto, isto é, a um preço inferior ao valor, para refletir a nova posição do mercado de investimento que está apreensivo relativamente ao cenário de crise. A diferença entre o preço de venda e o valor será registada como uma perda que terá de ser suportada pelo capital social do banco.

A Figura 3.8, esquematiza a situação onde o banco i perde X de financiamento no mercado interbancário, tendo esse montante provocado um perda superior a X (de $X(1+\delta)$) nos Iv_i motivando um redução do C_i em $X\delta$. Pode-se interpretar δ como o grau de stress no mercado de ativos ilíquidos.

IB_i^C	C_i
	$X\delta$
OL_i	D_i
Iv_i	IB_i^D
$X(1+\delta)$	X

Figura 3.8 - Balanço após choque de liquidez

Uma vez descrito o modelo a sua formalização e as suas regras o esquema na Figura 3.9 ilustra o funcionamento do modelo: A partir da situação inicial, representada por um conjunto de bancos, que têm relações entre si no mercado interbancário, representado pelas setas azuis. Ligam-se também clientes, através dos seus depósitos. Estes, podem ter mais do que uma conta, sendo estas sempre em bancos diferentes, representado no esquema através dos traços a verde. A junção das relações interbancárias com as relações comerciais (com os clientes), determinam o tamanho do banco, sendo maiores os que têm mais ligações. Uma vez selecionado um banco para iniciar a crise, espera-se que ocorra um processo de contágio que atingirá em primeiro lugar os bancos diretamente relacionados. As setas a vermelho mostram o processo de contágio em formação. Note-se que os clientes dos bancos falidos, representados mais a escuro, são totalmente retirados do sistema bem como alguns clientes de outros bancos através do processo de recrutamento. O banco central supervisiona as necessidades de financiamento dos bancos e no caso de o capital ser negativo poderá atuar. Uma vez o loop interno do programa não ter encontrado mais nenhum banco que satisfaça a condição de falência definida no programa, ficamos com a situação final, onde no caso do exemplo do esquema, é de total contágio.

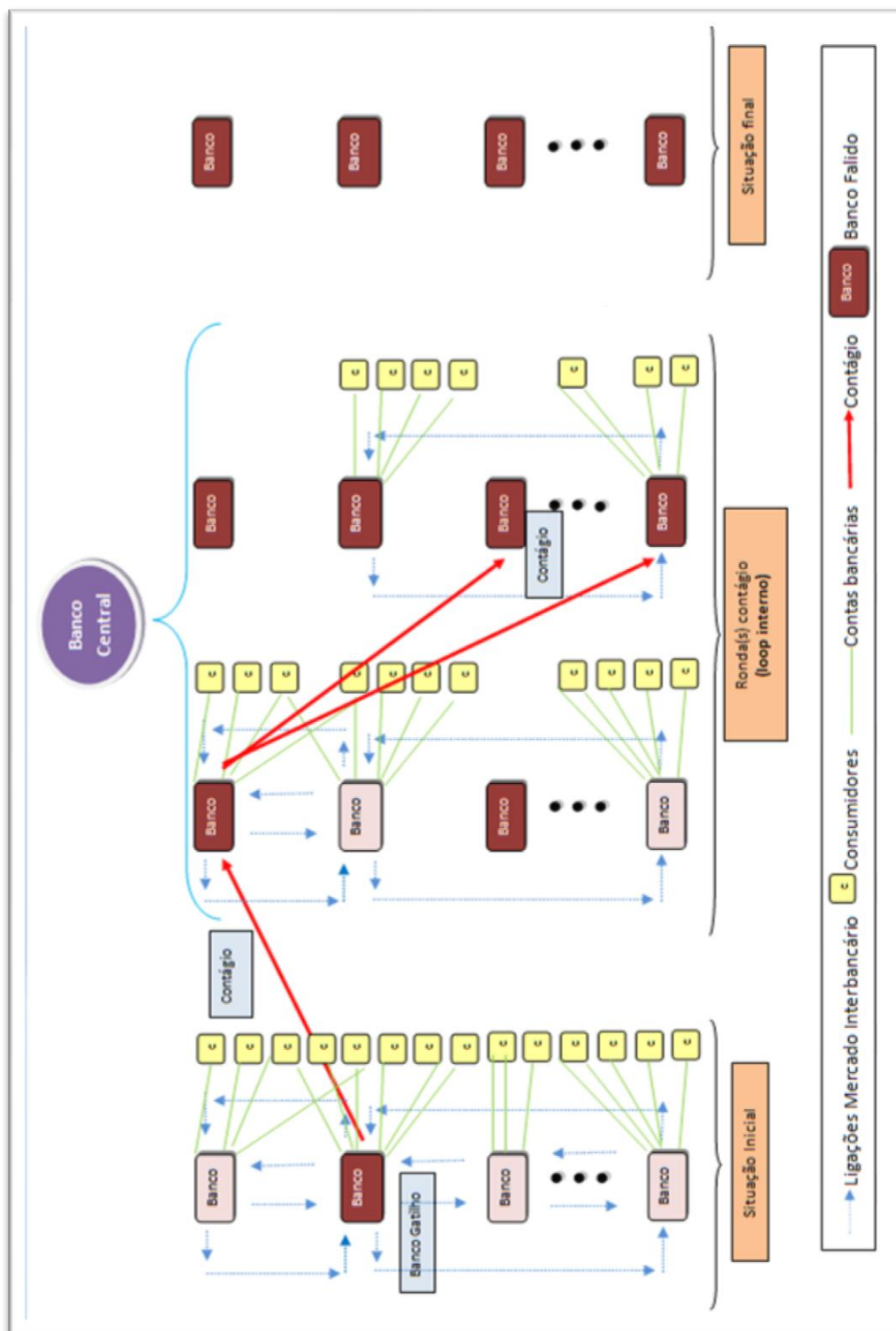


Figura 3.9 - Esquema do Sistema

3.9. Definição das variáveis, regras e agentes

Na produção dos resultados, a mesma configuração foi repetida 100 vezes para eliminar efeitos estocásticos. Estes efeitos estão presentes em três momentos na simulação:

1. O primeiro é na criação da rede, visto que o processo de escolha da ligação de um banco a outro banco ou de um consumidor a um banco, depende de uma variável aleatória. Isto é, imaginando que a rede tem atualmente três bancos ligados, o quarto banco a entrar na rede pode optar por ligar-se a qualquer um dos outros três, contudo a probabilidade de o fazer é maior com aquele que já tem mais ligações.
2. O segundo momento estocástico é na determinação da quantidade de contas que cada cliente terá, que como já foi mencionado, poderá ser entre uma e três.
3. Na eliminação de clientes da rede, visto que a junção dos coeficientes de levantamento e recrutamento permitem calcular a expressão (3.11). O valor aqui obtido reporta a probabilidade de um cliente abandonar a rede.

No desenvolvimento do algoritmo foram utilizadas variáveis que conferem atributos aos agentes bem como variáveis que ajudam na dinâmica de interação dos agentes no modelo. Apresenta-se na Tabela 3.2 essas mesmas variáveis, com a sua função, os seus limites e o seu tipo.

Analisando a Tabela 3.2, verifica-se que das variáveis exógenas, somente o número de bancos e o número de consumidores não são coeficientes ou rácios, estando estes portanto, balizados entre 0 e 1. O número possível de bancos e consumidores a introduzir no sistema, teve o seu intervalo definido com base no pressuposto de que o número de bancos não poderia ser superior ao de consumidores. Mas, não existiu qualquer outro fator para a tomada de decisão.

Relativamente à variável “depósitos por clientes”, e como explicado anteriormente, todos os clientes terão obrigatoriamente pelo menos uma conta e no máximo três, usando como referência os resultados das fontes apresentadas na nota de rodapé 1 deste mesmo capítulo.

Variáveis		Valores		Tipo	Função
		Min	Máx		
1	Grau de enviesamento	0	1	Exógena	Criar um rede, mais ou menos concentrada, ao nível das relações com bancos e consumidores
2	Rácio OL	0	1	Exógena	Percentagem de Obrigações Legais a utilizar
3	Coef. Mercado IB	0	1	Exógena	Percentagem dos depósitos possível de ser utilizada no mercado intrabancário
4	Coef. "Fire Sale "	0	1	Exógena	Percentagem de acréscimo ao preço de venda de ativos ilíquidos
5	Coef. <i>Moral Hazard</i>	0	1	Exógena	Percentagem transferível da rubrica Obrigações Legais para o mercado interbancário
6	Coef. Recrutamento	0	1	Exógena	Percentagem de influência de um consumidor levar outro a resgatar os seus depósitos
7	Coef. Levantamento	0	1	Exógena	Probabilidade de um cliente levantar os seus depósitos
8	Rácio Solvabilidade	0	1	Exógena	Percentagem mínima para o rácio entre o capital / passivo
9	Coef. Banco Central	0	1	Exógena	Percentagem de ativos líquidos aceites como colateral pelo banco central
10	Bancos	1	100	Exógena	Número de bancos a considerar no sistema
11	Consumidores	100	1000	Exógena	Número de clientes a considerar no sistema
12	Depósitos por cliente	1	3	Endógena	Número de depósitos por cliente
13	Arestas Bancos - Bancos	1	198	Endógena	Número de ligações entre bancos
14	Areatas Bancos - Consumidores	1	estocástico	Endógena	Número de ligações entre bancos e consumidores
15	Crédito Interbancário	0	-	Endógena	Montantes emprestados
16	Investimentos Ilíquidos	0	-	Endógena	Investimentos em ativos Ilíquidos
17	Obrigações Legais	0	-	Endógena	Reservas
18	Débito Interbancário	0	-	Endógena	Montantes recebidos em forma de empréstimo
19	Capital	0	-	Endógena	Capital do banco
20	Probabilidade do consumidor sair do sistema	0	-	Endógena	Probabilidade de um cliente sair do sistema

Tabela 3.2 -Limites, Tipo e função das variáveis no sistema

No que concerne as variáveis numeradas de um até nove, não existiu qualquer base teórica para selecionar um determinado valor. Nos casos relevantes, optou-se por preferir valores usados em outros estudos referenciados nesta abordagem.

Quanto às arestas que ligam bancos a bancos o menor número relevante é 1, visto que nesse caso unirá dois bancos. A mesma lógica aplica-se às arestas que unem consumidores a bancos. Contudo, como se tratam de variáveis endógenas e em dependência direta do número de bancos e consumidores selecionados, para 30 bancos teremos um total de 58 arestas. Quanto às arestas de união entre consumidores e bancos, para 700 clientes, teremos pelo menos 700, mas com um nível de enviesamento inferior a 1, esse número será sempre superior ao número de clientes devido ao efeito estocástico do número de contas por consumidor.

As variáveis endógenas do modelo referidas na Tabela 3.2 são dependentes da configuração inicial a realizar no Interface do Netlogo.

O modelo é articulado à volta de três regras principais resumidas na Tabela 3.3. Os bancos, no fim de cada ciclo de contágio, têm de avaliar o seu capital. Os consumidores dos bancos sobreviventes também repensam a sua intenção de permanecer no sistema, visto que podem ser “recrutados” por outros consumidores a levantar os seus depósitos. O agente banco central, no fim de cada ronda de contágio e relativamente aos bancos com capital negativo, analisa as suas situações para aferir da possibilidade de poder conceder um empréstimo.

	Agente	Regra	Consequência
1	Banco	Verificar o seu capital	Se $C < 0$ então "saí do sistema", senão "simulação termina"
2	Consumidor	Permanência no Sistema	Se número aleatória $<$ probabilidade de sair do sistema, então "saí do sistema"
3	Banco Central	Verificar a condição para concessão de empréstimos	Se $C < 0$ então { Se $ C <$ valor admitido, então "concede empréstimo" }

Tabela 3.3 - Regras dos Agentes

Usando o número da variável na primeira coluna da Tabela 3.2, resume-se a relação entre variáveis e agentes:

- Bancos: {1; 2; 3; 4; 5; 8; 9; 10; 12; 13; 15; 16; 17; 18; 19}
- Consumidores: {1; 6; 7; 11; 12; 13; 14; 20}
- Banco Central: {9;19}

A lista pretende indicar, por exemplo, que a variável “2” (Obrigações Legais) afeta a configuração do agente bancos. Bem como que, por exemplo, a variável “1” (Grau de enviesamento) afeta a atribuição de características aos bancos e consumidores. Vê-se que o modelo é extramente dinâmico para o agente “bancos” enquanto o agente “banco central” tem uma missão mais específica.

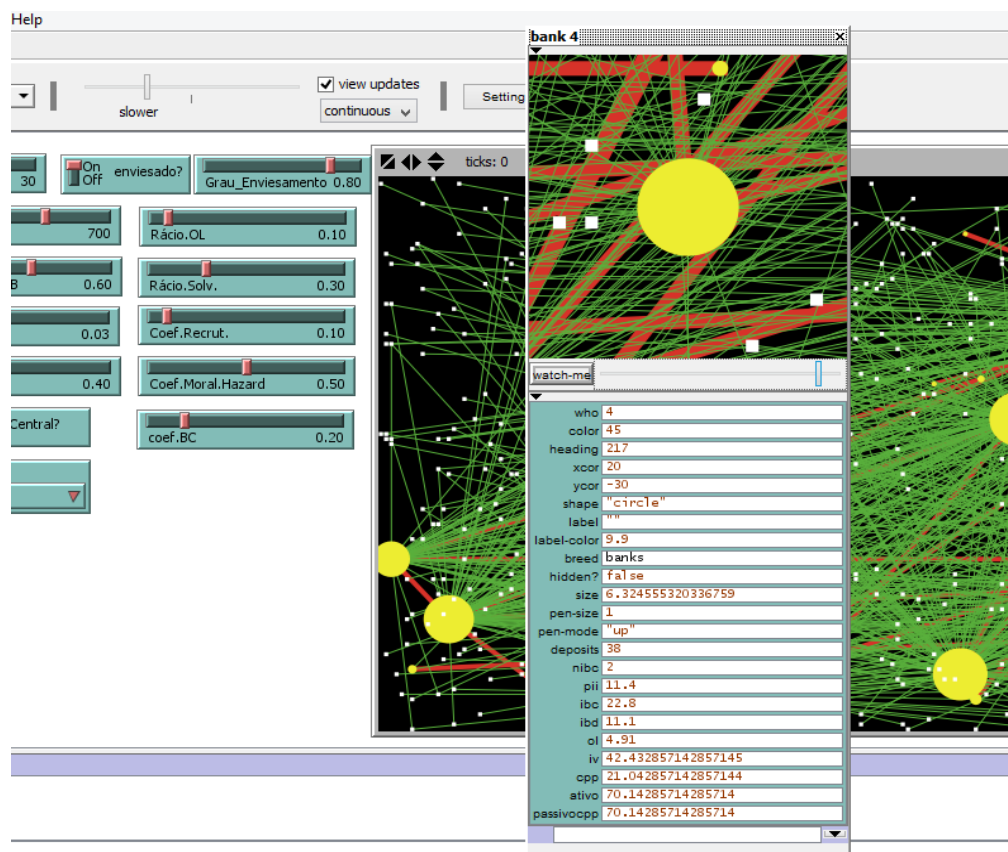


Figura 3.10 - Visualização dos atributos de um banco no sistema

3.10. Netlogo e Interface do modelo

A simulação desenvolvida no âmbito desta abordagem foi realizada através da utilização do programa informático Netlogo¹¹. Trata-se de uma ferramenta fundamental para a modelação de ambientes de Multi-Agente. Aplicação gratuita, desenvolvida na Universidade de Northwestern nos Estados Unidos por Uri Wilensky (1999), tem o seu desenvolvimento e manutenção ao cabo do *The Center for Connected Learning and Computer-Based Modelling* (CCL).

Extremamente útil para a modelação de sistemas complexos que se modificam ao longo do tempo, a sua utilização permite a definição de regras, praticamente a um número infinito de agentes, que podem operar independentemente. Desta forma pode-se manipular o comportamento ao nível micro e visualizar as consequências macros das ações dos agentes.

Uma das mais importantes vantagens da utilização desta aplicação, principalmente para quem a formação de base não é em computação, é possuir uma linguagem de programação simples. Mas nem por isso deixa de servir a utilizadores avançados, como é comprovado pelas diversas referências disponíveis sobre esta aplicação.

Para o desenvolvimento do modelo, foi primeiro criado um ambiente onde todos os agentes são apresentados. Cada agente possuiu um conjunto de regras que define o seu comportamento, conforme já explicado nesta introdução. Após a seleção de um banco para ser retirado do sistema (o primeiro banco a falir), dá-se o início à dinâmica da simulação que, para um conjunto de variáveis, pretende-se perceber se é resistente ao processo de contágio.

Não deixou de constituir um desafio juntar a análise económica e financeira do tema abordado à computação em Netlogo. Trata-se de algo fundamental para a formulação de um modelo ao abrigo da lógica ACE. Sem dúvida que a experiência serve como porto de partida para futuros estudos em processos Multi-Agente.

¹¹ O software Netlogo poderá ser encontrado em <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

A Figura 3.11 mostra um exemplo de um Setup no Interface do Netlogo. Geralmente, os modelos em Netlogo utilizam um botão com o nome “Setup” para criar o mundo e um botão “Go” que dá inicialização à simulação. Note-se que o botão “Go” tem um pequeno símbolo de “atualização” no canto inferior esquerdo, indicando que ao ser pressionado o modelo correrá em forma de ciclo até encontrar uma condição de paragem. Existe um terceiro botão na imagem chamado de “C” que serve simplesmente para obter do sistema a informação sobre o capital de todos os bancos presentes. Essa informação é fornecida ao utilizador na janela inferior intitulada de “Command Center”.

O controlo das variáveis exógenas é realizado através de “Sliders” que permitem balizar os seus limites, deixando o utilizador seleccionar o coeficiente pretendido. Existem dois “Switches” que ligam ou desligam a variável que condicionam, sendo neste caso um para o enviesamento e um outro para o banco central. A inclusão destes dois “Switches” foi exclusivamente para criar mais uma opção visto que a simulação presente nesta abordagem pressupõe sempre uma rede enviesada e um banco central. Para dar início à simulação escolhe-se um banco para falir. A “Chooser” permite seleccionar o maior, o menor ou um banco aleatório. Por último temos quatro “Monitors” que prestam informação atualizada sobre o sistema, neste caso um para o número de bancos, outro para o número de consumidores e dois para o número de ligações entre bancos e entre bancos e consumidores respectivamente.

O código escrito para criar todos os mecanismos apresentados nos subcapítulos anteriores, está apresentado no apêndice. Contudo, para simplificar o entendimento desse código apresenta-se de seguida uma simplificação do algoritmo, em forma de

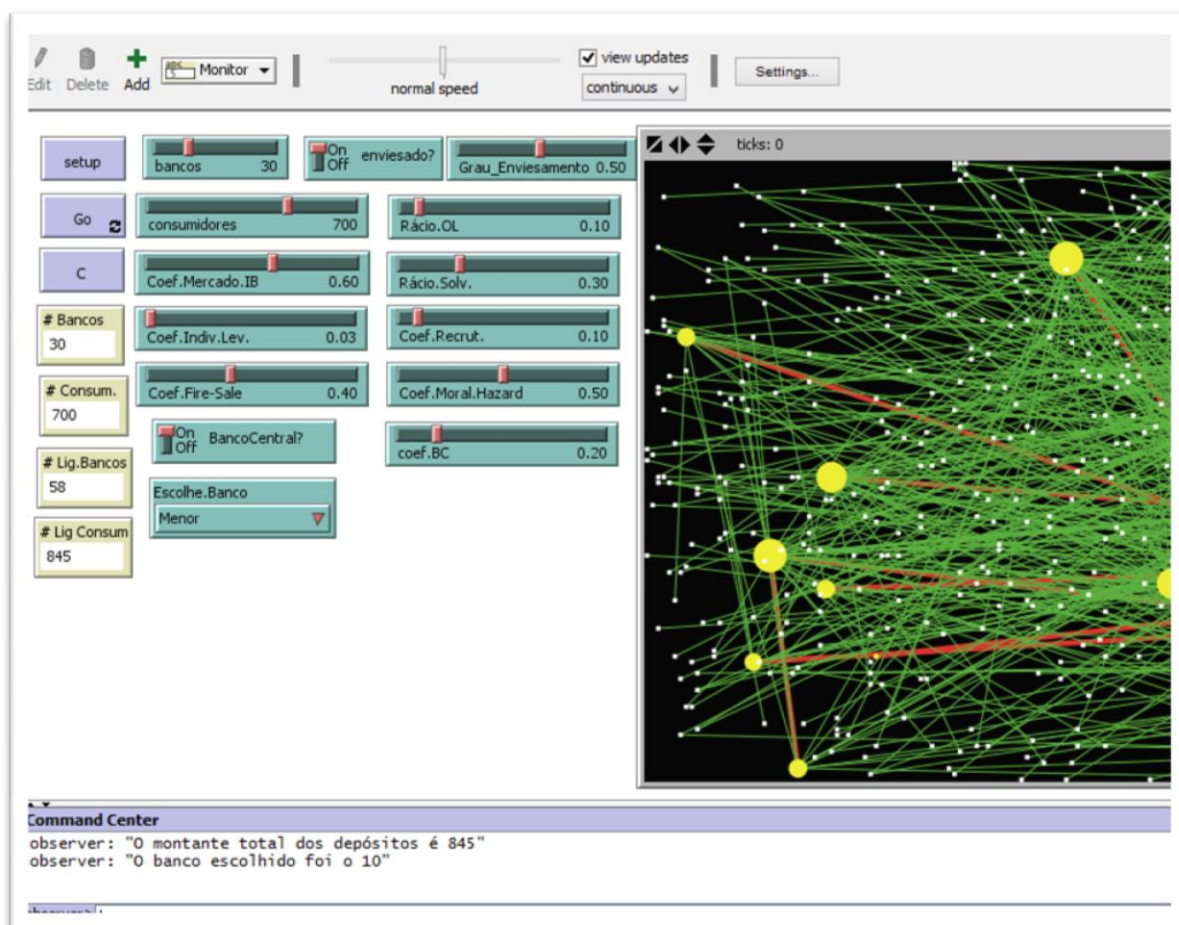


Figura 3.11 - Exemplo de um Setup no Interface do Netlogo

Pseudo-Código.

INÍCIO

(1.Introdução das variáveis essenciais ao desenvolvimento da escrita do código)

Variáveis: {bancos, consumidores, banco central, ligações entre bancos, ligações entre bancos e consumidores, banco gatilho, depósitos, número de relações, empréstimos, empréstimos totais recebidos, empréstimos totais atribuídos, obrigações legais, investimentos, capital, enviesamento, grau enviesamento, rácio OL, coef. mercado interbancário, coef. Fire Sale, coef. *Moral Hazard*, coef. recrutamento, coef. levantamento, coef. banco central, rácio solvabilidade, escolha banco}

(2.Criação da situação inicial, isto é, da rede bancária)

Criar: número de bancos e consumidores definidos pelo utilizador

Criar ligações: Verificar a variável enviesamento {
 Se enviesamento = Falso então: Criar Rede aleatória
 Se enviesamento = Verdadeiro então: Criar Rede enviesada
}

(3.Preencher os atributos dos agentes bancos)

Atribuir valores para as variáveis "Criação dos Balanços":

```
{  
  depósitos = consumidores,  
  número de relações = contar o número de ligações,  
  empréstimos = coef. mercado interbancário * (depósitos / numero de  
  relações)  
  empréstimos totais recebidos = determinar empréstimos de outros  
  bancos  
  empréstimos totais atribuídos = somar empréstimos  
  obrigações legais = rácio OL * (depósitos + empréstimos totais  
  recebidos)  
  capital = rácio solvabilidade * (depósitos + empréstimos totais  
  recebidos) / (1 - rácio solvabilidade)  
  investimentos = (depósitos + empréstimos totais recebidos + capital -  
  empréstimos totais atribuídos - obrigações legais)  
}
```

(3.seleção do banco que dará início à crise)

Se escolha banco = "Maior" então eliminar o maior banco do sistema

Se escolha banco = "Menor" então eliminar o menor banco do sistema

Se escolha banco = "Aleatório" então eliminar um banco aleatoriamente do sistema

Eliminar consumidores com ligação = escolha banco

(4.atualização dos balanços dos bancos ligados diretamente ao "escolha banco" num primeiro momento e em caso de vir do ponto 6. serve para dar continuação ao processo de contágio)

Para cada banco perguntar {Se ligações entre bancos = escolha banco:
Verdadeiro então atualizar {

 empréstimos totais atribuídos


```

        empréstimos totais recebidos
        obrigações legais
        investimentos
        capital }
    }

(5.atualização dos balanços dos restantes bancos e preencher os atributos dos
agentes consumidores)
Probabilidade de um cliente sair da rede = (contar consumidores /
consumidores) * (coef. levantamento / consumidores) + coef
recrutamento * (1 - (contar consumidores / consumidores))

Para cada consumidor perguntar {Se número aleatório menor que 1 <
probabilidade de um cliente sair da rede então {eliminar
consumidor}

}

Para cada banco atualizar {
{
depósitos = consumidores,
número de relações = contar o número de ligações,
empréstimos = coef. mercado interbancário * (depósitos / numero de
relações)
empréstimos totais recebidos = determinar empréstimos de outros
bancos
empréstimos totais atribuídos = somar empréstimos
obrigações legais = rácio OL * (depósitos + empréstimos totais
recebidos)
capital = rácio solvabilidade * (depósitos + empréstimos totais
recebidos) / (1 - rácio solvabilidade)
investimentos = (depósitos + empréstimos totais recebidos + capital -
empréstimos totais atribuídos - obrigações legais)
}
}

(6.Intervenção do banco central - ação inspecionadora do agente banco central)
Para bancos com capital < 0 então { Se |capital| < coef. banco central *
investimentos então {
empréstimos totais atribuídos = empréstimos totais atribuídos + |capital|
capital = capital + |capital|
}
}

(6.Testar a solvência dos bancos)
Para cada banco perguntar {Se capital < 0 então {
voltar ao ponto 4}

```

FIM

4. Capítulo – Resultados

A análise aos resultados do modelo foi elaborada com a ideia subjacente de que existem um conjunto de variáveis que são do controlo dos bancos, um outro conjunto de controlo das autoridades, outro controlado pelos consumidores e por último um conjunto definido pelo mercado. A Tabela 4.1 resume as variáveis bem como a entidade que as domina.

Variáveis	Bancos	Autoridades	Consumidores	Mercado
Grau de enviesamento	-	-	-	√
Rácio OL	-	√	-	-
Coef. Mercado IB	√	-	-	-
Coef. "Fire Sale"	-	-	-	√
Coef. <i>Moral Hazard</i>	√	-	-	-
Coef. Recrutamento	-	-	√	-
Coef. Levantamento	-	-	√	-
Rácio Solvabilidade	-	√	-	-
Coef. Banco Central	-	√	-	-

Tabela 4.1 - Resumo das variáveis utilizadas na simulação

Admite-se também que os bancos estão a operar em plena eficiência, isto é, não acumulam mais reservas do que as obrigatórias (valor representado por OL) e também utilizam todos os recursos possíveis na sua atividade, reservando no capital somente o montante exigido pelas autoridades para cumprimento do rácio de solvabilidade. Procedeu-se, assim, a uma análise com foco nas variáveis passíveis de controlo pelas diferentes entidades. Em primeiro lugar analisou-se os bancos, seguido de uma análise com foco nas variáveis de controlo das autoridades, consumidores e mercado. Relativamente ao banco que dá início à crise – o primeiro banco a falir – decidiu-se conduzir de forma a seleccionar o maior banco e o menor banco presente no sistema para ampliar a análise. A dimensão tem em conta o número de ligações e o número de

clientes que cada banco possui. O número de bancos no momento inicial do sistema é de 30 e o número de consumidores de 700. Para cada configuração repetiu-se a simulação 100 vezes para eliminar efeitos de estocasticidade ao modelo.

Não foi utilizada nenhuma medida formal para se encontrar os *Tipping Points*. Através da análise do output da simulação, procedeu-se informalmente tentando encontrar os TP de forma aproximada.

O Netlogo possui uma ferramenta com o nome “*Behaviour Spaoce*” com a qual é possível parametrizar experiências. Selecionam-se as variáveis que se pretende analisar bem como o intervalo de variação das mesmas. Define-se o número de repetições da experiência e indica-se que tipo de resultados se pretendem obter Figura 4.1. Desta forma, o “*Behaviour Spaoce*” recolhe os resultados para todas as combinações possíveis das variáveis selecionadas.

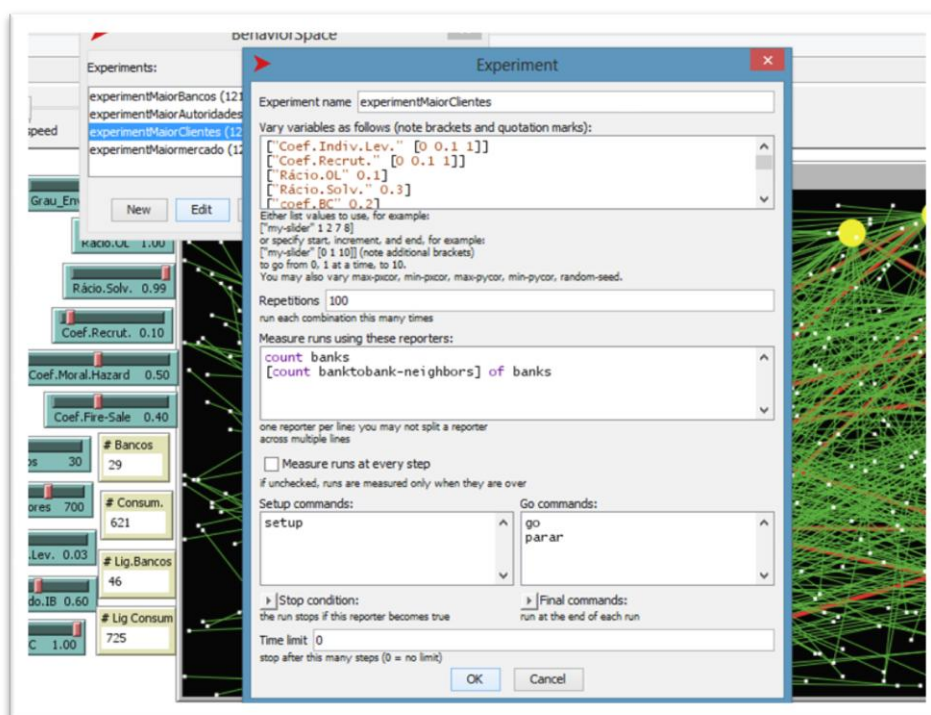


Figura 4.1 - Behavior Space do Netlogo

4.1. Análise às variáveis controladas pelos bancos

Para proceder-se à análise dos efeitos de modificação das variáveis controlados pelos bancos, com a seleção do maior banco presente no sistema como o causador da crise, considerou-se os seguintes valores para as variáveis:

Bancos = 30 Consumidores = 700	
Variáveis	Valores
Grau de enviesamento	0,5
Rácio OL	0,1
Coef. Mercado IB	[0:1]
Coef. "Fire Sale"	0,4
Coef. <i>Moral Hazard</i>	[0:1]
Coef. Recrutamento	0,1
Coef. Levantamento	0,03
Rácio Solvabilidade	0,3
Coef. Banco Central	0,2

Tabela 4.2 - Valores utilizados na simulação (Bancos)

		Coef.Moral Hazard										
Coef.Mercado IB		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	28	28	27	27	28	28	28	28	29	29	28
	0.2	25	27	27	26	24	25	26	26	26	23	23
	0.3	20	22	15	22	15	18	26	19	25	27	19
	0.4	18	19	19	16	14	18	15	20	17	18	16
	0.5	20	13	16	14	14	11	11	16	14	17	13
	0.6	12	10	14	11	13	12	11	18	13	12	14
	0.7	8	8	11	6	7	7	9	12	11	11	10
	0.8	9	10	9	7	8	14	7	10	7	17	13
	0.9	8	10	8	7	11	8	10	9	8	15	9
	1	10	10	9	6	10	9	9	13	7	8	8

Tabela 4.3 Conforme é possível de ser analisado pela Tabela 4.3 e pela Figura 4.2 a alteração dos valores dos coeficientes do mercado interbancário e *Moral Hazard* não são suscetíveis de causar rutura no sistema. Mesmo no caso mais extremo, isto é, para o par de valores [1,1] o sistema não mostra qualquer sinal de fragilidade. Mas, apesar de não existir qualquer situação de rutura é claro a forma gradual como o sistema vai-se degradando com o aumentar conjunto dos valores das variáveis.

Esta situação simula uma intenção do banco correr um risco elevadíssimo, pois utiliza um montante superior aos depósitos de consumidores no mercado interbancário. Nesta situação, o potencial de perdas é extramente elevado. Contudo, atendendo aos resultados obtidos, pode-se concluir que as variáveis não controladas pelos bancos, nomeadamente as de segurança (Rácio de Solvabilidade e Rácio de OL) foram suficientes para suportar as perdas. As situações dos pares [0, [0:1]] traduzem a melhor alternativa para o sistema por tratarem-se das configurações que não provocam falências adicionais. Mostra-se assim, que apesar de os bancos transferirem montantes das OL para o mercado interbancário este é insuficiente para causar problemas em situação de perda.

		Coef.Moral Hazard										
Coef.Mercado IB		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	28	28	27	27	28	28	28	28	29	29	28
	0.2	25	27	27	26	24	25	26	26	26	23	23
	0.3	20	22	15	22	15	18	26	19	25	27	19
	0.4	18	19	19	16	14	18	15	20	17	18	16
	0.5	20	13	16	14	14	11	11	16	14	17	13
	0.6	12	10	14	11	13	12	11	18	13	12	14
	0.7	8	8	11	6	7	7	9	12	11	11	10
	0.8	9	10	9	7	8	14	7	10	7	17	13
	0.9	8	10	8	7	11	8	10	9	8	15	9
	1	10	10	9	6	10	9	9	13	7	8	8

Tabela 4.3 - Bancos Sobreviventes (Bancos – Maior)

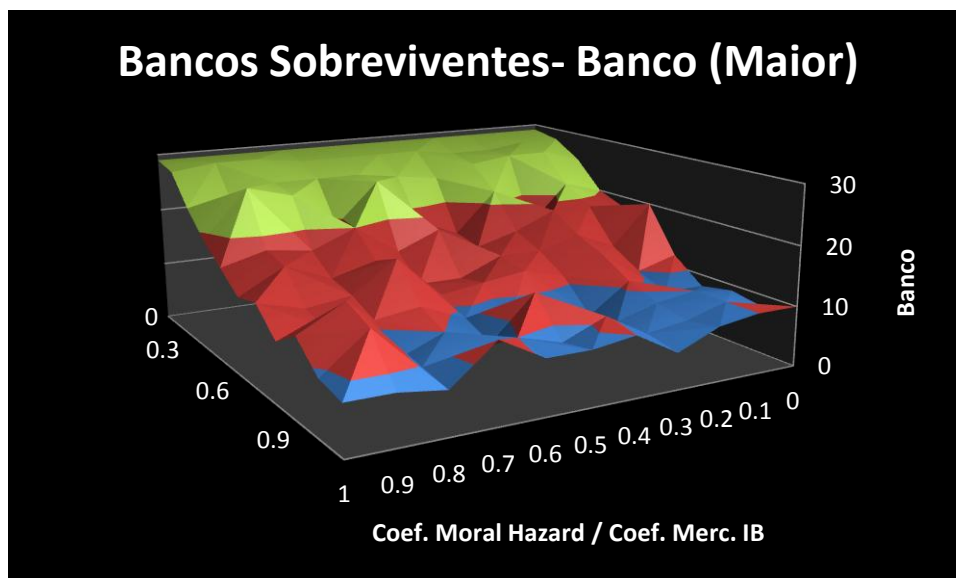


Figura 4.2 - Bancos Sobreviventes (Bancos – Maior)

No caso da seleção do menor banco presente no sistema como o banco a iniciar a crise, não existem falências a registrar após o primeiro momento. A interpretação deste resultado passa pela ideia de que mesmo no caso mais extremo, na configuração [1,1] este banco não tem ligações ao resto da rede suficientes para lhe impor danos. A topologia em forma *Scale-free* é por si só uma barreira de segurança.

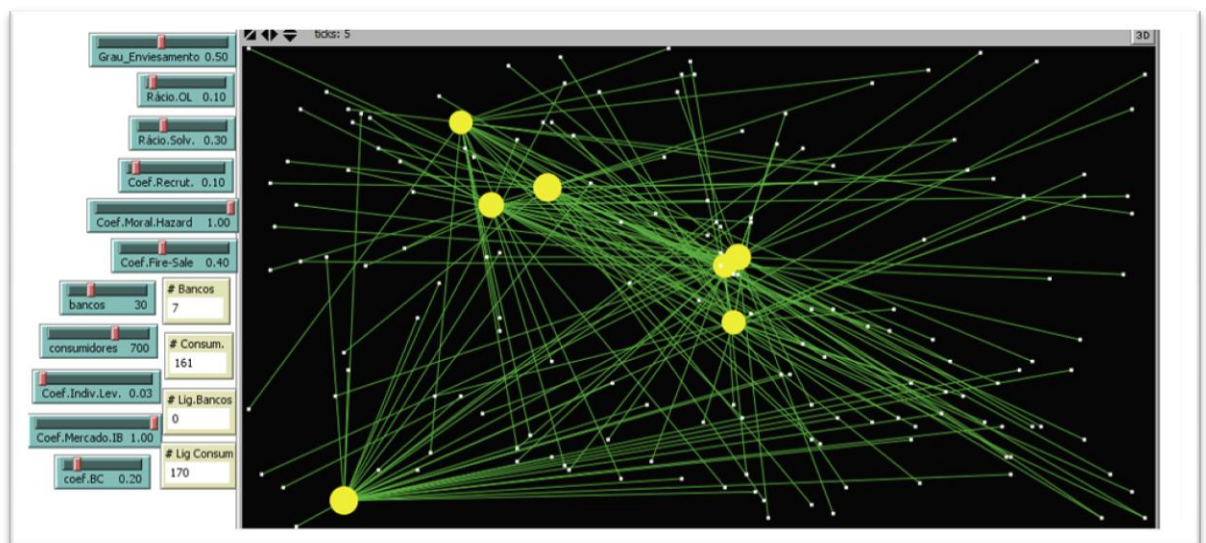


Figura 4.3 - Output do modelo (Bancos - Maior)

4.2. Análise às variáveis controladas pelas autoridades

Para o caso das variáveis onde as autoridades têm tutela, os valores utilizados foram os resumidos na Tabela 4.4.

Bancos = 30 Consumidores = 700	
Variáveis	Valores
Grau de enviesamento	0,5
Rácio OL	[0:1]
Coef. Mercado IB	0.6
Coef. "Fire Sale"	0,4
Coef. <i>Moral Hazard</i>	0.5
Coef. Recrutamento	0,1
Coef. Levantamento	0,03
Rácio Solvabilidade	[0:1]
Coef. Banco Central	[0:1]

Tabela 4.4 - Valores utilizados na simulação

Como se tratam de três as variáveis decidiu-se analisar para cada valor relativo ao coeficiente do banco central, as outras duas variáveis: O rácio de obrigações legais e o rácio de solvabilidade. A tabela 6.1, presente no apêndice resume todos os valores obtidos quando o banco que deu início à crise foi o maior banco presente no sistema. Pode-se verificar que o aumento do coeficiente do banco central faz aumentar o número de bancos sobreviventes, mas de uma forma muito modesta. E este aumento é só verificado para valores onde o rácio de solvabilidade é inferior a 0.3. Relativamente às obrigações legais, verifica-se uma apatia generalizada para quase todos os valores à exceção de quando é muito alta. O rácio de solvabilidade é a variável dominante, sendo que para valores iguais ou superiores a 0.5 resultam sempre num número de bancos sobreviventes que corresponde quase ao total dos bancos iniciais. A mostra a configuração onde resulta o valor mais baixo de bancos sobreviventes.

Através da análise da Tabela 4.5 verifica-se a existência de TP para valores inferiores a 0.3 para o rácio de solvabilidade e inferiores a 0.7 de reservas legais. No momento do TP a queda no número de bancos sobreviventes é aproximadamente de 10 (passagem do rácio de solvabilidade de 0.3 para 0.2 e do 0.7 para 0.6 nas reservas legais) Valores inferiores a 0.1 para o rácio de solvabilidade e inferiores a 1 para o rácio de obrigações legais, são também zonas proibidas. A Figura 4.4 mostra a alteração brusca no número

total de bancos que resiste ao impacto da falência individual com alterações pequenas nos rácios de solvabilidade e de obrigações legais. Mostra-se, através deste exemplo, a importância da decisão por parte das autoridades sobre os valores que estes rácios devem assumir.

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0											
Rácio Obrigações Legais	0	0	0	4	18	19	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	0	5	15	23	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	0	5	13	28	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	1	7	16	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	2	7	13	28	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	4	7	28	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	4	9	28	28	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	4	19	29	28	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	6	26	28	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	19	28	28	29	29	29	29	29	29	29
	1	18	25	27	28	29	29	29	29	29	29	29

Tabela 4.5 - Bancos Sobreviventes (Autoridade – Maior)

Para a simulação onde se seleccionou o banco mais pequeno do sistema para dar início à crise, as conclusões são semelhantes às da seleção do maior banco da rede. Conforme se pode concluir pela Tabela 6.2 presente no Apêndice a principal diferença com a escolha do menor banco do sistema prende-se com número de bancos sobreviventes, que é superior, sempre que os rácios de obrigações legais e solvabilidade influenciam o sistema, isto é, para valores inferiores a 0.2 para o rácio de solvabilidade e 0.2 para o rácio de obrigações legais.

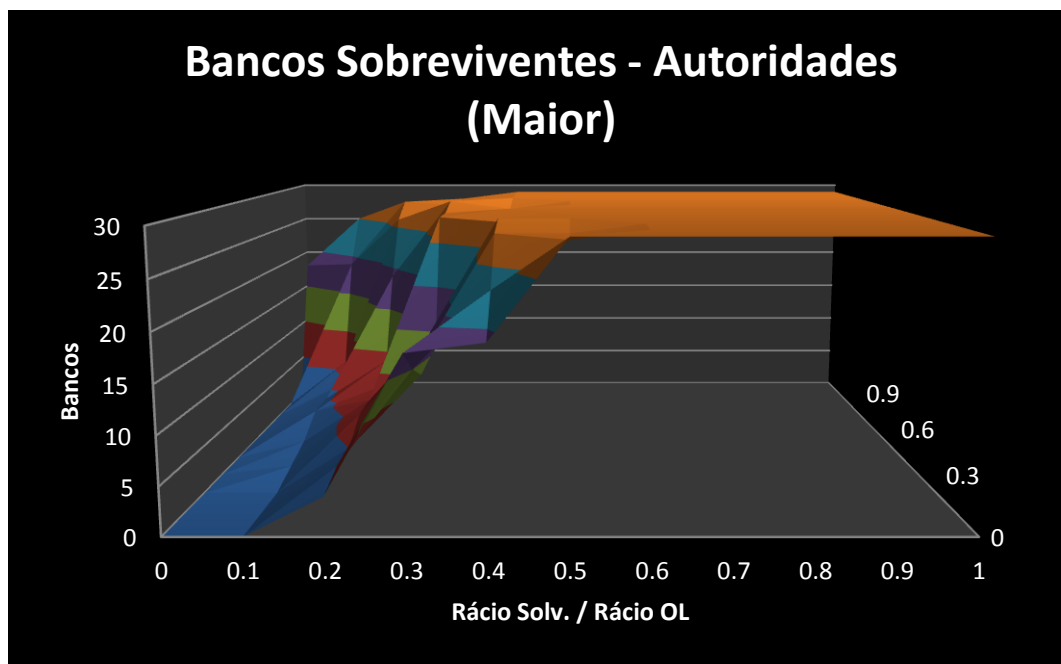


Figura 4.4 - Bancos Sobreviventes (Autoridade – Maior)

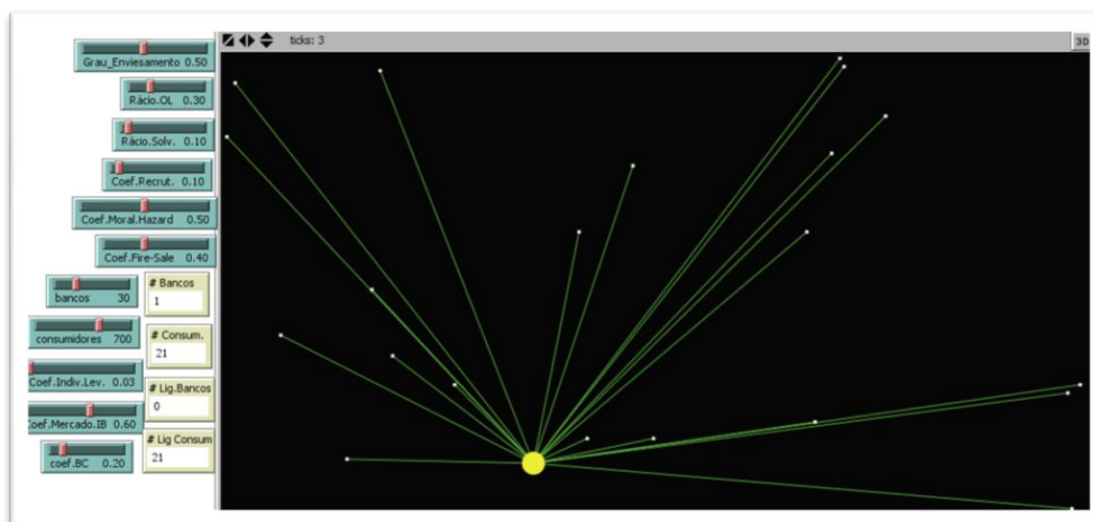


Figura 4.5 – Output do modelo (Autoridades - Maior)

4.3. Análise às variáveis controladas pelos clientes

Os clientes são uma parte extremamente importante no sistema bancário criado: Eles, através dos seus depósitos, são uma das fontes de liquidez, mas também são agentes capazes de induzir outros a levantar os seus depósitos em situação de stress.

Bancos = 30 Consumidores = 700	
Variáveis	Valores
Grau de enviesamento	0,5
Rácio OL	0.1
Coef. Mercado IB	0.6
Coef. "Fire Sale"	0,4
Coef. <i>Moral Hazard</i>	0.5
Coef. Recrutamento	[0:1]
Coef. Levantamento	[0:1]
Rácio Solvabilidade	0.3
Coef. Banco Central	0.2

Tabela 4.6 - Valores utilizados na simulação

Apesar das características que os consumidores possuem, a análise à variação dos coeficientes de recrutamento e levantamento mostra que não influenciam a estrutura do sistema. Não existe qualquer padrão entre os níveis destes coeficientes e o número de bancos que resistem à falência inicial. A

		Coeficiente de Levantamento										
Coeficiente de Recrutamento		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0	7	12	12	14	15	10	8	14	14	11	13
	0.1	8	12	9	14	8	16	12	13	14	13	15
	0.2	12	16	11	11	21	12	12	14	14	11	13
	0.3	10	18	19	8	8	17	17	9	12	15	14
	0.4	15	14	13	16	13	10	15	11	11	13	16
	0.5	19	12	14	15	16	19	13	14	19	12	9
	0.6	13	11	16	15	17	15	13	22	16	19	13
	0.7	18	19	16	12	17	22	17	15	16	14	19
	0.8	18	14	16	14	15	18	12	17	13	16	12
	0.9	16	14	15	17	11	21	18	13	16	17	21
	1	13	20	22	18	17	18	18	17	16	15	16

Tabela 4.7 e a Figura 4.6 resumem os resultados obtidos para a seleção do maior banco do sistema, como banco que dá início à crise, e onde os resultados para a seleção do banco mais pequenos do sistema não provocar qualquer alteração às conclusões encontradas.

Os resultados apresentados permitem sugerir que mesmo no caso de uma corrida aos depósitos, o sistema tal e qual como está configurado, seria capaz de sustentar a crise inicial. De facto, o recrutamento acontece sempre que há uma falência, portanto, se estas tiverem parado, também o número de clientes a abandonar o sistema é interrompido.

Este resultado não pretende contrariar a ideia de que corridas aos depósitos não levam redes bancárias ao total desaparecimento, porque efetivamente levam. Sugere somente que durante o processo de contágio, mesmo com uma posição muito negativa por parte dos consumidores, o recrutamento limitado às rondas onde existem falências de bancos, não é suficiente para atingir os limites relativamente à quantidade de perdas de financiamento que conseguem sustentar.

		Coeficiente de Levantamento										
Coeficiente de Recrutamento		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0	7	12	12	14	15	10	8	14	14	11	13
	0.1	8	12	9	14	8	16	12	13	14	13	15
	0.2	12	16	11	11	21	12	12	14	14	11	13
	0.3	10	18	19	8	8	17	17	9	12	15	14
	0.4	15	14	13	16	13	10	15	11	11	13	16
	0.5	19	12	14	15	16	19	13	14	19	12	9
	0.6	13	11	16	15	17	15	13	22	16	19	13
	0.7	18	19	16	12	17	22	17	15	16	14	19
	0.8	18	14	16	14	15	18	12	17	13	16	12
	0.9	16	14	15	17	11	21	18	13	16	17	21
	1	13	20	22	18	17	18	18	17	16	15	16

Tabela 4.7 - Bancos Sobreviventes (Clientes – Maior)

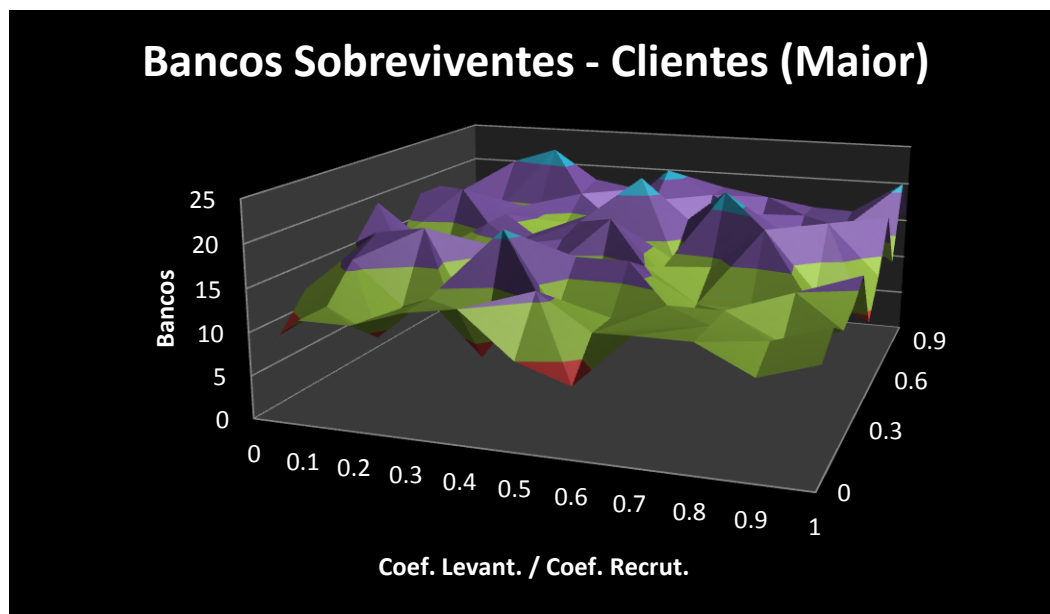


Figura 4.6 - Bancos Sobreviventes (Clientes – Maior)

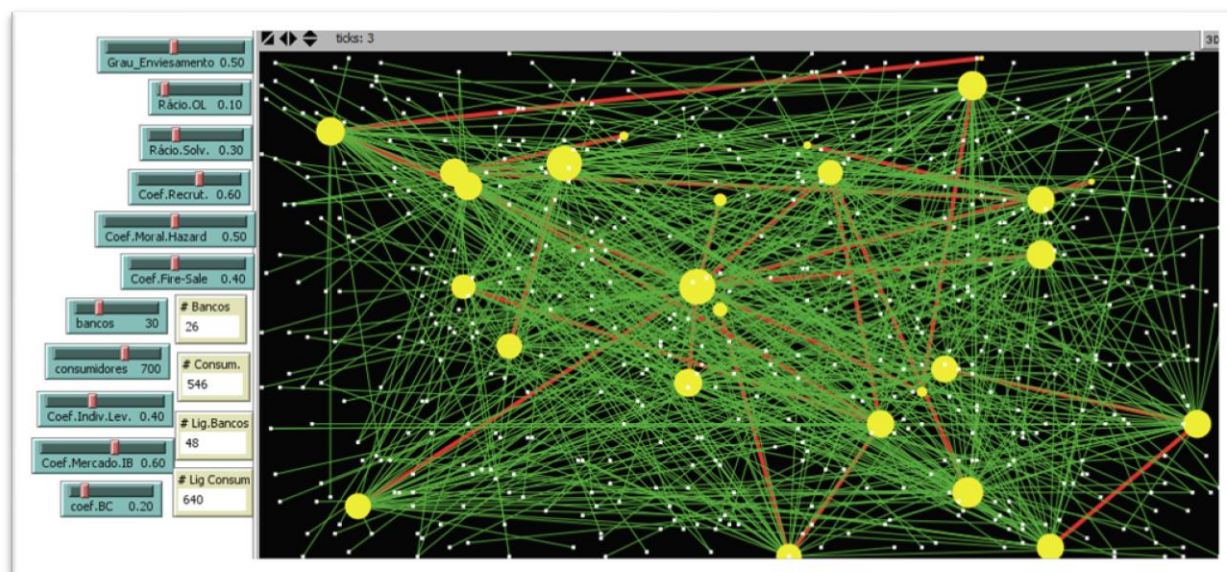


Figura 4.7 - Output modelo (Clientes – Maior)

4.4. Análise às variáveis controladas pelo mercado

A composição da rede que caracteriza o sistema pode ser interpretada como uma variável dependente do mercado visto que a maior ou menor concentração de um determinado banco depende da sua performance resultante da estratégia operacional adotada. É

relevante salientar-se que com esta variável não se pretende fazer um estudo de topologia, aliás este ponto é um dos que diferencia este trabalho de outros existentes. A estrutura da rede é sempre considerada ser *Scale-free*. Contudo, esta pode ser mais ou menos centralizada. É precisamente esse impacto que se analisou. Já o coeficiente de “*fire sale*” representa a diferença entre o valor de mercado e o preço de venda conseguido em caso de venda em situações anormais de mercado dos ativos ilíquidos. Quanto maior o seu valor maior será o stress do sistema, visto que os ativos estão a ser vendidos a preços cada vez mais inferiores ao seu valor, podendo originar perdas significativas para a rubrica capital dos bancos.

A simulação para esta situação utilizou os seguintes valores para as variáveis do sistema:

Bancos = 30 Consumidores = 700	
Variáveis	Valores
Grau de enviesamento	[0:1]
Rácio OL	0.1
Coef. Mercado IB	0.6
Coef. "Fire Sale"	[0:1]
Coef. Moral Hazard	0.5
Coef. Recrutamento	0.1
Coef. Levantamento	0.03
Rácio Solvabilidade	0.3
Coef. Banco Central	0.2

Tabela 4.8 - Valores utilizados na simulação

Seguindo o princípio adotado nas análises anteriores, recolheu-se resultados em primeiro lugar para a situação onde se escolheu o maior banco presente na rede como o banco a dar início à crise. Pode-se verificar através da Tabela 4.9 que o aumento do grau de enviesamento e do coeficiente de *fire sale* pioram a estabilidade do sistema. Para valores acima a 0.9 para ambas as variáveis o sistema não sobrevive.

	Grau de Enviesamento
--	-----------------------------

Coeficiente de Fire Sale		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0	29	29	29	29	29	28	28	27	25	20	0
	0.1	29	29	29	29	29	28	28	27	25	20	0
	0.2	29	29	29	29	27	28	23	25	24	18	0
	0.3	29	27	28	21	17	15	15	9	7	5	0
	0.4	20	16	21	17	12	12	11	7	7	6	0
	0.5	24	20	24	15	11	11	7	6	5	5	0
	0.6	17	12	19	10	9	7	7	7	5	5	0
	0.7	8	8	7	7	4	5	4	5	6	4	0
	0.8	9	8	10	6	4	6	5	5	5	4	0
	0.9	8	9	11	7	6	5	4	3	4	4	0
	1	11	9	12	8	6	6	6	5	3	4	0

Tabela 4.9 - Bancos Sobreviventes (Mercado – Maior)

A análise Tabela 4.9 ajuda-nos a perceber que estamos perante uma situação onde se verifica a existência de um TP. De facto, com o aumento das variáveis sobre análise até ao par [0.2;0.2] nada modifica, mas a partir de 0.3 para o grau de enviesamento e 0.4 para o coeficiente de *fire sale* o sistema sofre uma descontinuidade no número de bancos finais que posteriormente o leva para uma situação insustentável. No momento do TP a variação no número de bancos sobreviventes é de 12 (passagem de 0.3 para 0.4 no grau de enviesamento e de 0.2 para 0.3 no coeficiente de *Fire-Sale*). A concentração excessiva de consumidores e ligações ao banco que dá início à crise levam a que este “gigante” se torne grande de mais para cair.

Na seleção do menor banco do sistema para dar início à crise, o coeficiente de “*fire sale*” assume uma importância relativamente superior à situação da seleção do banco maior. E esta diferença é tanto maior quanto maior é o grau de enviesamento da rede. Esta conclusão parece fazer sentido visto que ao existir uma maior concentração da rede em torno de um banco, um banco pequeno terá menos hipóteses de trazer problemas aos restantes. Estes resultados podem ser analisados através da Tabela 4.10.

Apesar de em nenhuma configuração das duas variáveis em análise o sistema apresentar uma situação de total rutura, isto é, não existir qualquer banco sobrevivente, existe na mesma um ponto de viragem, um TP, para valores superiores a 0.5 para o grau de enviesamento e valores superiores a 0.6 para o coeficiente de *Fire sale*.

A Figura 4.9 e Figura 4.10 mostram a situação de um rede configurada com valores para o grau de enviesamento e coeficiente de *Fire-sale* superiores a 0.9, na qual não sobreviveu qualquer banco.

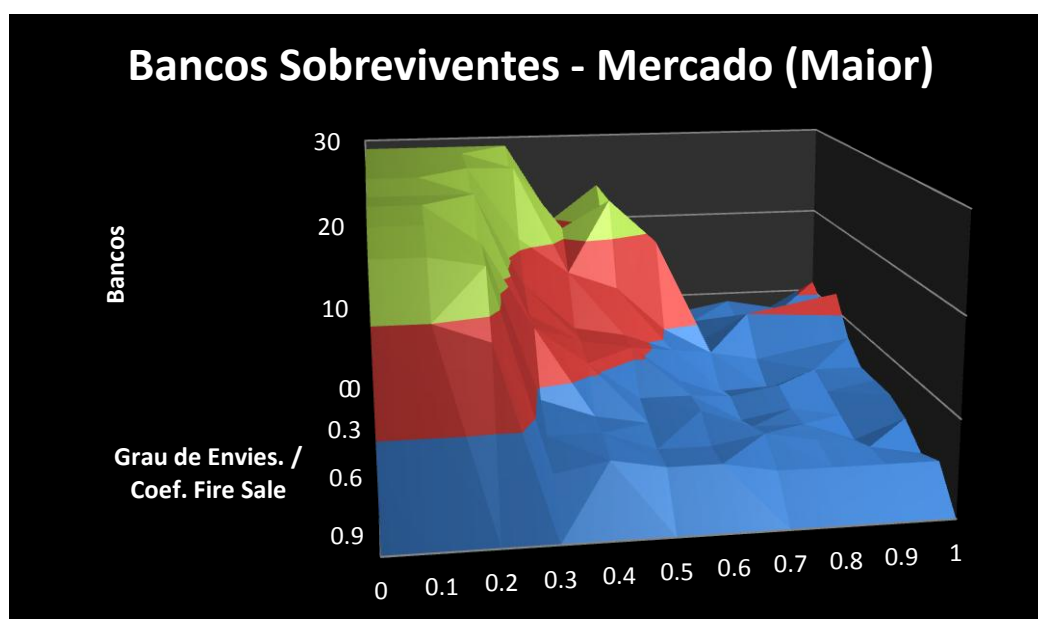


Figura 4.8 - Bancos Sobreviventes (Mercado – Maior)

		Grau de Enviesamento										
Coeficiente de Fire Sale		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	29	29	23	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	25	26	28	29	29	11	6	6	4	5	1
	0.6	23	22	20	29	22	10	5	5	3	5	1
	0.7	14	12	8	7	7	3	5	4	5	4	1

0.8	9	8	8	7	9	4	3	4	3	4	1
0.9	9	9	11	7	7	5	4	4	4	3	1
1	10	7	10	9	6	7	6	4	3	2	1

Tabela 4.10- Bancos Sobreviventes (Mercado – Menor)

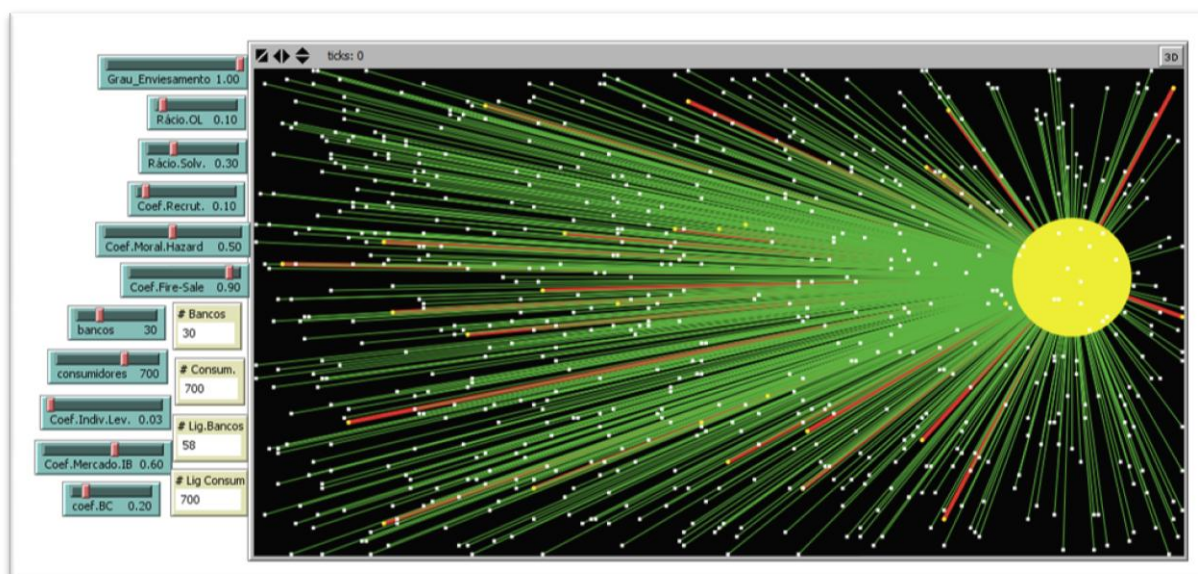


Figura 4.9 - Configuração modelo (Mercado - Maior)

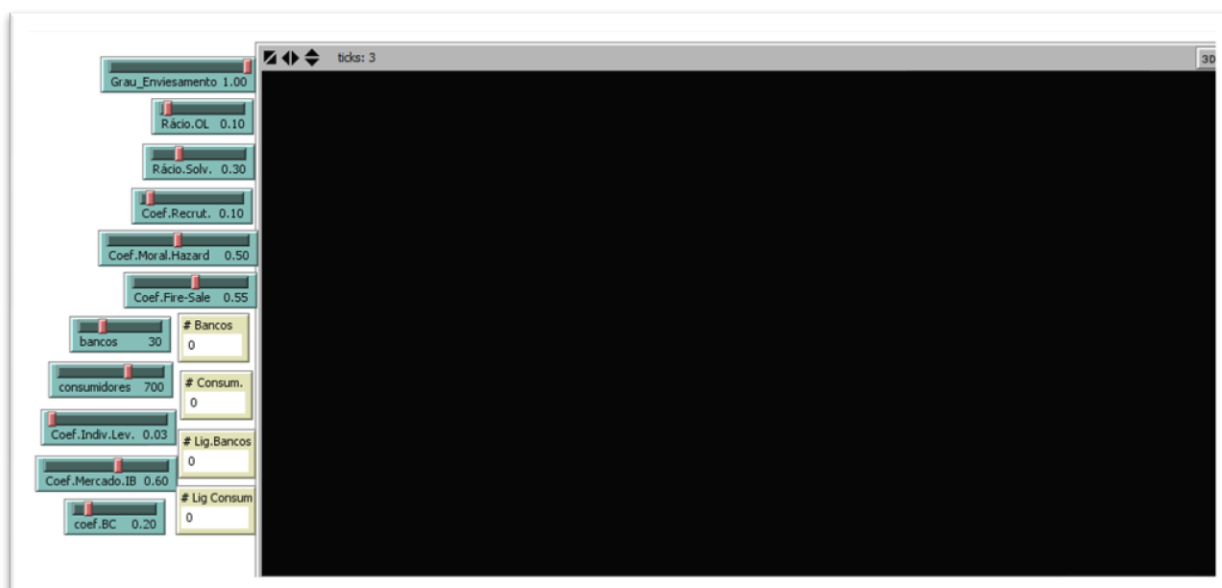


Figura 4.10 - Output modelo (Mercado - Maior)

4.5. Análise ao *Scale-Free*

Como mencionado no capítulo 3 a topologia adotada nesta abordagem foi o *Scale-free* pelo facto de ser reconhecido por diversos autores (ver Capítulo 2) como a mais verificada na realidade. No trabalho desenvolvido por Co-Pierre (2011), que apresentou uma análise comparativa para diferentes topologias da sua abordagem, é comentado que de acordo com os seus resultados o alarmismo criado pelas investigadores relativamente ao risco sistémico é exagerado visto que este está mais presente em outras topologias teóricas do que no *Scale-free*. No fundo, isto ocorre porque existe uma característica “fio-de-navalha” nas redes onde se estuda o contágio: Se por um lado um maior número de ligações leva a um maior contágio, por outro lado, a probabilidade de o choque inicial conseguir ser absolvido também é maior. Já Provenzano (2012) acrescenta que, de acordo com os seus resultados, quando se aumenta os níveis de interconnectividade, os resultados em termos de sustentabilidade do sistema diminuem. O *Scale-free* sendo uma topologia com um menor número de ligações do que muitas das redes teóricas, produz assim melhores resultados.

A abordagem aqui apresentada mostra que o facto de a rede ser em *Scale-free* origina muitas situações frequentes, onde bancos ficam numa situação de isolamento, isto é, sem qualquer ligação a outro(s) banco(s), fruto de formação hierárquica que este tipo de topologia apresenta. É que de facto, como não estamos perante uma rede completa¹, um qualquer banco, após ter conseguido sobreviver a um primeiro impacto ou até mesmo a um segundo impacto, deixa de ter qualquer ligação a outro(s) banco(s), impossibilitando poder sofrer um novo impacto e também deixando de poder contagiar outros.

É possível verificar este fenómeno com a ajuda do Netlogo. A Figura 4.11 mostra a situação inicial da uma rede. Após duas rondas de contágio os bancos a azul são os que não apresentam qualquer ligação a outro banco (ver Figura 4.12). Ainda existem bancos com capital negativo e por isso ocorre mais uma ronda de contágio. A Figura 4.13 resume a situação final, onde são precisamente os bancos que não tinham qualquer ligação a sobreviver à crise.

¹ Uma rede completa neste sentido é definida como uma rede onde todos os bancos estão ligados a todos os outros bancos

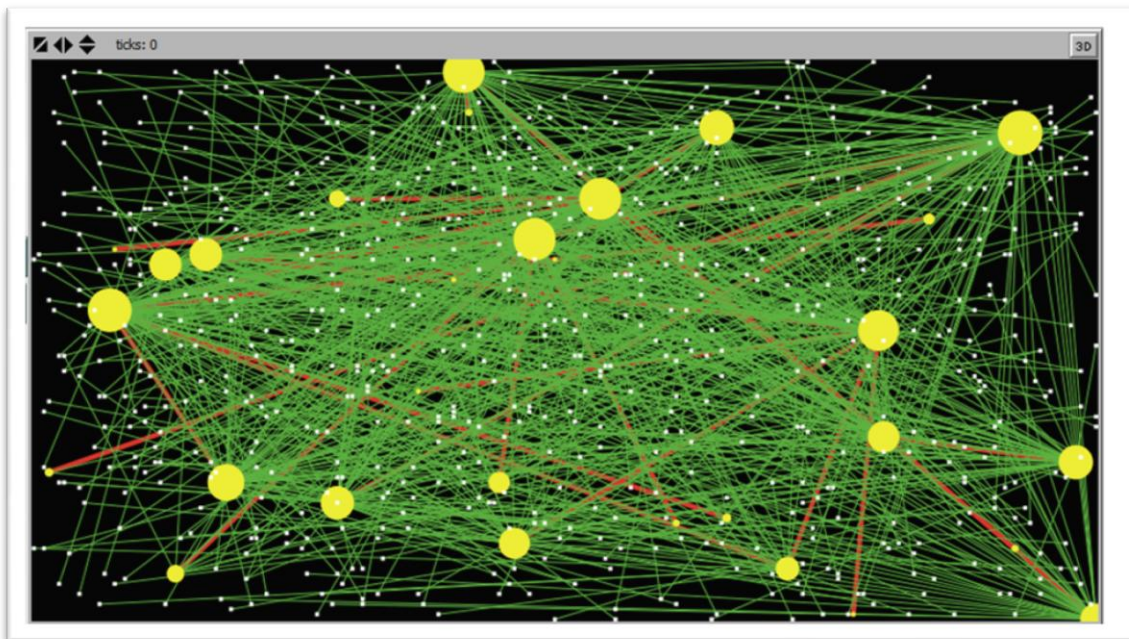


Figura 4.11 - Situação Inicial

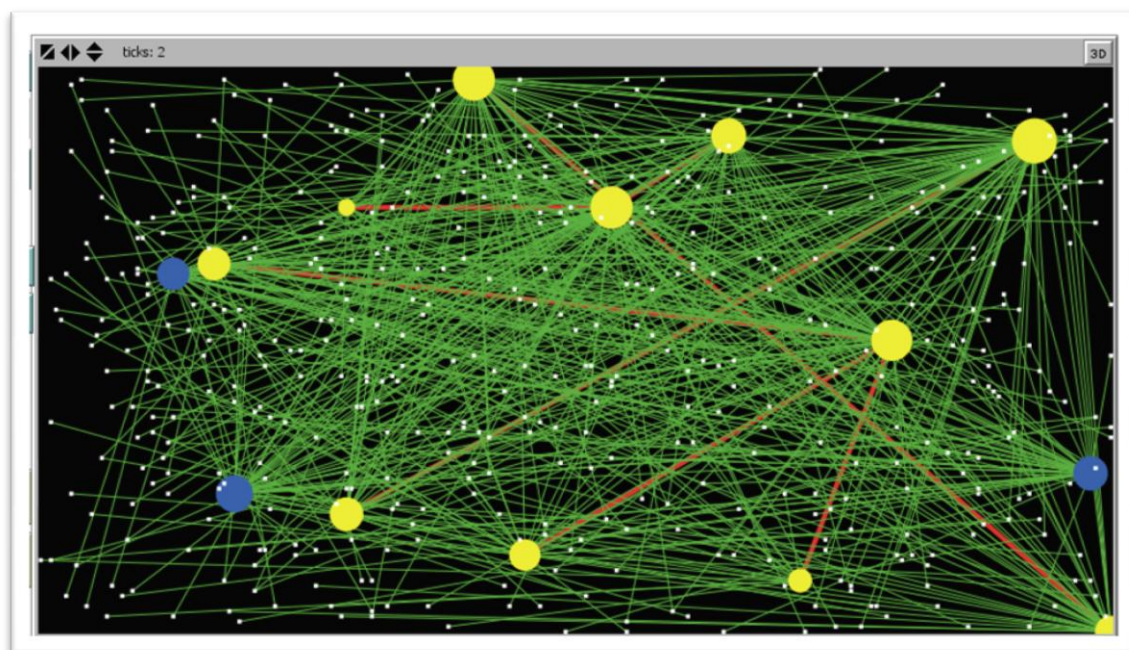


Figura 4.12 - Situação do sistema após duas rondas de contágio

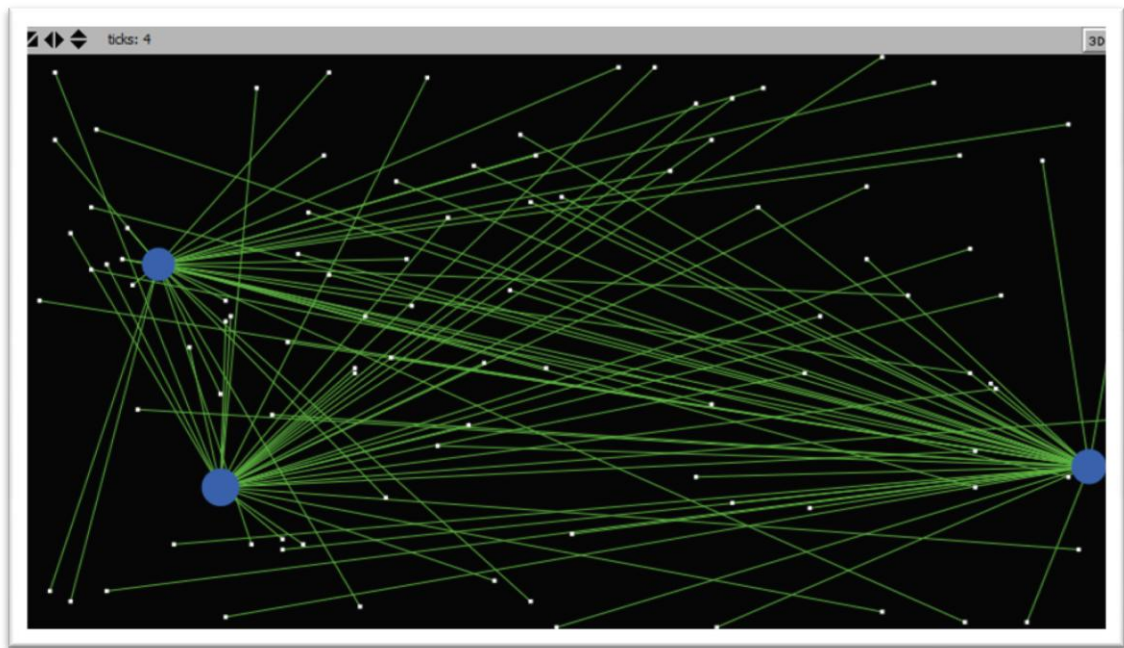


Figura 4.13 - Situação final após três rondas de contágio

5. Capítulo – Conclusão

A presente dissertação estuda um tema atual que é ao mesmo tempo um clássico da literatura financeira. A importância dos bancos nas economias modernas é vital. Mas a sofisticação que hoje muitas instituições apresentam através dos seus balcões, tecnologia das suas aplicações *online*, campanhas de *marketing* entre outros meios faz muitas vezes esquecer a antiguidade da atividade bancária. Não há dúvidas que os bancos são os parceiros de sempre dos governos quando toca a dinamizar e desenvolver a economia. E também são parceiros nos momentos menos bons, quando muitas vezes são obrigados a participar no financiamento no esforço de guerra. Mas, nem sempre os bancos atuam de forma transparente e em benefício da sociedade. Mesmo tratando-se de uma indústria que obtém margens de lucro grandes e de forma sustentada, a sua posição privilegiada no contexto de informação imperfeita tem levado sucessivamente os bancos a adotarem posições de gestão que ultrapassam o bom senso de qualquer administração responsável. E, na verdade, estas situações têm surgido de forma repetida, sempre capazes de contornar a cada vez maior e mais rigorosa legislação bem como os cada vez melhores meios e técnicas de controlo.

É por serem potencialmente devastadoras as consequências de uma crise financeira desenvolvida no seio do sistema bancário, que o tema é tão apaixonante para tantos investigadores. E, certamente que continuará a ser, pois os bancos têm sido capazes de desenvolver a sua atividade através de novos produtos e novos serviços. Os investigadores, pelo seu lado, têm visto os meios e técnicas de fazer análise multiplicados.

Foi com esta motivação que a presente dissertação foi realizada, juntando novas ideias a conhecimento produzido por outros autores, utilizando ferramentas e conceitos ainda num estado embrionário nas ciências sociais e mais particularmente no estudo de crises

sistêmicas em redes bancárias, tentando encontrar novos ângulos de análise e afortunadamente, novo saber.

O conceito de *Tipping Points* que Lamerson e Page (2012) definem como uma descontinuidade na variável em análise é a bússola que orienta esta abordagem, pois mais do que encontrar configurações que causem risco sistêmico, é o verificar como o *Tipping Point* surge que é alvo de interesse.

O objetivo proposto foi assim verificar a existência de *Tipping Points*, no caso de a rede bancária apresentar risco sistêmico. O sistema criado juntou bancos, consumidores e banco central. A união destes agentes foi realizada segundo uma rede em *Scale-free*, onde um grupo mais pequeno de bancos agrega a maioria dos consumidores e das relações no mercado interbancário.

Os bancos são representados pelos seus balanços. E, as ligações entre os diferentes bancos são desenvolvidas através do mercado interbancário. Neste mercado, os bancos emprestam ou recebem emprestado verbas que necessitam para a normal realização das suas funções operacionais. São as exposições criadas no mercado interbancário, que criam uma partilha de risco entre todos os bancos no caso de surgirem problemas de sustentabilidade de algum dos intervenientes. Os bancos poderão ainda adotar uma posição mais adversa à sua resistência, se decidirem não cumprir regras impostas pelas autoridades e transferir verbas para o mercado interbancário. Mas os consumidores também absorvem risco pois podem perder os seus depósitos. O modelo pressupõe uma atitude ativa de todos os agentes e em particular dos consumidores, onde estes são reativos ao surgir uma crise, na medida em que para além de retirarem os seus depósitos do sistema podem influenciar outros a fazerem o mesmo.

O banco central entra no sistema como financiador de último recurso. Mas, para que isso possa ser uma realidade, um conjunto de regras têm de ser cumpridas, onde a de maior relevo é o coeficiente que define quanto estará disposto a aceitar como colateral dos investimentos em ativos ilíquidos que os bancos possuem.

A forma como a rede bancária foi criada apresenta diversas inovações que a diferenciam esta abordagem de outras na literatura. Desde já junção de três tipos de agentes (bancos, consumidores e banco central) permite assumir a possibilidade de existência de risco de

crédito e de liquidez. Outras vantagens desta abordagem são o deixar de parte o estudo clássico da topologia da rede centrando-se no (*Scale-free*), a possibilidade de contas de depósito múltiplas por partes dos consumidores, a possibilidade de poder-se simular o assumir por parte dos bancos, de um risco superior ao estabelecido pelas autoridades e ainda o estabelecer de um coeficiente de *Fire-Sale* que cria uma diferenciação entre o valor e preço de mercado de um determinado ativo. O desenvolvimento de todos estes mecanismos teve como motivação a elaboração de uma análise mais aderente com a realidade

Todas as simulações tiveram a seleção de um banco para dar início à crise. De forma a avaliar-se a diferença do impacto da falência do maior banco presente no sistema versus o menor banco presente no sistema, procedeu-se à análise de ambas as situações, mas em nenhum dos casos as diferenças foram significativas.

São nove variáveis exógenas, divididas pelos agentes que as dominam, que definem a sustentabilidade do sistema. Analisou-se cada conjunto de variáveis, calculando-se todas as combinações possíveis para cada conjunto, admitindo que os restantes grupos se mantinham constantes. Conclui-se que, para as variáveis dominadas pelos bancos e para as variáveis controladas pelos clientes, não existe qualquer situação de risco sistémico. Já no caso das variáveis sobre a alçada do banco central e sobre as variáveis dependentes do mercado, verificou-se a possibilidade de o sistema poder ruir totalmente. Mostrou-se também, que as situações de risco sistémico não surgem de forma gradual mas antes de forma intempestiva, isto é, existem *Tipping Points*. Por último verificou-se que o facto de uma topologia *Scale-free* exigir um grau inferior de interconnectividade (Co-Pierre (2011) e Provenzano (2012)), é frequente bancos fiquem isolados, sem qualquer ligação, tornando-se assim imunes a novas rondas de contágio.

A presente abordagem não deixa de ter limitações, uma delas diretamente relacionada com o objetivo. Trata-se da não utilização de uma forma para identificar o momento exato que o *Tipping Point* acontece. Outras limitações, centram-se na complexidade do mundo criado: Não foram utilizadas taxas de remuneração dos investimentos ilíquidos ou taxas de juro do mercado interbancário; O coeficiente de *Fire-Sale* poderia ser integrado de forma endógena no modelo, criando-se um dinamismo maior à simulação,

mas sendo necessário assim criar um mercado de ativos ilíquidos. Relativamente à questão do *Moral Hazard* apresentado, este é bastante limitativo na medida em que centra-se exclusivamente na questão do risco. Ainda sobre a rede bancária, não foi realizado uma análise no contexto de redes sociais.

Como trabalho futuro, pretende-se criar uma rede onde todos os tipos de agentes possam incorporar um maior número de atributos e regras, nomeadamente o banco central. Pretende-se criar uma métrica para definir o momento exato que os TP acontecem bem como analisar a rede utilizando conceitos de redes sociais. Um outro objetivo passaria por uma definição mais ampla dos investimentos ilíquidos dando-lhes possibilidade de obterem rentabilidades. Seria extremamente interessante a criação de um mercado interbancário dinâmico, com taxas de juros definidas pelos intervenientes dependentes do grau de stress da rede e de teoria de jogos.

6. Apêndice

6.1. – Tabela de resultados de bancos sobreviventes relativamente à alteração das variáveis controladas pelas autoridades e seleção do maior banco no sistema para dar início à simulação

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0											
Rácio Obrigações Legais	0	0	0	4	18	19	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	0	5	15	23	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	0	5	13	28	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	1	7	16	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	2	7	13	28	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	4	7	28	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	4	9	28	28	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	4	19	29	28	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	6	26	28	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	19	28	28	29	29	29	29	29	29	29
	1	18	25	27	28	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.1											
Rácio Obrigações Legais	0	0	0	4	13	17	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	0	3	12	22	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	1	5	17	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	1	8	15	28	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	3	6	19	28	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	3	7	26	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	3	9	27	29	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	4	20	27	28	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	5	27	28	28	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	19	28	28	28	29	29	29	29	29	29
	1	17	24	27	28	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.2											
Rácio Reservas Legais	0	0	1	15	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.1	0	1	16	26	27	27	29	29	29	29	29
	0.2	0	1	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	2	19	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	4	25	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.5	0	7	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	11	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	15	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	16	24	26	27	27	29	29	29	29	29	29

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.3											
Rácio Reservas Legais	0	0	1	16	26	27	28	29	29	29	29	29
	0.1	0	1	16	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.2	0	2	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	3	20	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	4	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	8	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	10	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	16	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	28	28	29	29	29	29	29
	1	16	23	26	27	28	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.4											
Rácio Reservas Legais	0	0	1	16	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.1	0	2	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	2	18	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	3	20	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	4	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	7	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	11	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	16	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	21	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	17	23	26	27	27	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.5											
Rácio Reservas Legais	0	0	2	16	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.1	0	2	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	3	18	26	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	3	21	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	4	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	8	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	10	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	17	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	17	23	26	27	27	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.6											
Rácio Reservas Legais	0	0	3	16	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.1	0	3	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	3	19	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	21	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	5	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	7	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	11	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	16	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	17	23	26	27	27	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.7											
Rácio Reservas Legais	0	0	3	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.1	0	3	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	19	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	21	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	4	25	26	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	8	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	11	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	16	26	27	28	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	21	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	23	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	16	23	26	27	27	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.8											
Rácio Reservas Legais	0	0	4	17	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.1	0	3	18	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	19	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	22	26	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	5	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	7	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	11	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	17	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	28	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	16	23	26	27	27	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.9											
Rácio Reservas Legais	0	0	4	17	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.1	0	4	18	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	19	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	21	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	5	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	7	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	10	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	17	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	18	23	26	27	27	29	29	29	29	29	13

Rácio de Solvabilidade												
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	1											
Rácio Reservas Legais	0	0	4	17	27	27	27	29	29	29	29	29
	0.1	0	5	18	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	19	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.3	0	5	22	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.4	0	4	25	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.5	0	8	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.6	0	10	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.7	0	16	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.8	0	20	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	0.9	0	22	26	27	27	28	29	29	29	29	29
	1	16	23	27	27	27	29	29	29	29	29	13

6.2. Tabela de resultados de bancos sobreviventes relativamente à alteração das variáveis controladas pelas autoridades e seleção do menor banco no sistema para dar início à simulação

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0											
Rácio Obrigações Legais	0	0	0	18	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	1	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	2	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.1											
Rácio Obrigações Legais	0	0	1	18	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	1	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	1	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	3	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.2											
Rácio Obrigações Legais	0	0	1	18	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	1	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	2	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	14	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.3											
Rácio Obrigações Legais	0	0	2	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	2	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	3	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	3	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.4											
Rácio Obrigações Legais	0	0	2	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	2	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	3	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.5											
Rácio Obrigações Legais	0	0	3	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	3	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	4	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	18	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.6											
Rácio Obrigações Legais	0	0	3	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	3	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	21	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	5	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	18	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.7											
Rácio Obrigações Legais	0	0	3	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	4	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	5	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	23	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.8											
Rácio Obrigações Legais	0	0	4	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	5	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	4	21	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	5	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	14	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	18	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	0.9											
Rácio Obrigações Legais	0	0	4	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	5	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	6	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	5	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	13	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	19	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

		Rácio de Solvabilidade										
	Coef. BC	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
	1											
Rácio Obrigações Legais	0	0	6	19	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.1	0	6	20	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.2	0	6	21	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.3	0	5	22	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.4	0	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.5	0	14	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.6	0	18	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.7	0	22	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.8	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	0.9	0	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	1	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

6.3. Código da Simulação escrito para o software Netlogo

```

breed [banks bank]
breed [consumers consumer]
undirected-link-breed [bankstobanks banktobank]
undirected-link-breed [bankstoconsumers bankstoconsumer]
banks-own [deposits
  NIBC
  Pii
  IBC
  IBD
  OL
  Iv
  CPP
  Ativo
  PassivoCP] ;
globals [ b
  z ]
;
;
; Inicializar do Mundo ;
;
;
to setup

```

```

ca
reset-ticks
ask n-of bancos patches [
  sprout-banks 1 [
    set color yellow
    set shape "circle"
  ]
ask n-of consumidores patches [
  sprout-consumers 1 [
    set color white
    set shape "square"
  ]
make-links
make-consumer-links
shape-size
depositos
devedores
emprestimo-individual
credores
Obrigacoes_Legais
capita_social
Investimentos
balancos
set z 0
reset-ticks
let c sum [count bankstoconsumer-neighbors] of consumers
show (word "O montante total dos depósitos é " c)
if Escolhe.Banco = "Aleatório" [
  set b random bancos ]
if Escolhe.Banco = "Maior" [
  let smax max [size] of banks
  let bb [who] of banks with [size >= smax]
  set b one-of bb]
if Escolhe.Banco = "Menor" [
  let smen min [size] of banks
  let bb [who] of banks with [size <= smen]
  set b one-of bb]
show (word "O banco escolhido foi o " b)
end

to go
  ifelse z = 0 [
    bancos_relacionados
    perda_financiamento
    eliminar_banco_inical_e_consumidores
    atualizar_por_perda_clientes
    perda_de_fianciamento_via_clientes
    balancos]
  [Central_Bank
    testar_solvencia
    acertar
    balancos]
  tick
end

to parar
  if all? banks [CPP >= 0] [
    show (word " Não há mais falências, a simulação terminou ") tick stop]

```

```

end

to make-links
  ask bank 0 [create-banktobank-with bank 1 [set color red set thickness 1]]
  foreach sort banks [
    ask ? [
      let id [who] of self
      if [count banktobank-neighbors] of bank id = 0[ ;;se este banco não tiver nenhuma ligação vou criar
uma
      ifelse enviesado?

      [create-banktobank-with find-partner-bank [set color red set thickness 1]]
      [ let lig random id
        create-banktobank-with bank lig [set color red set thickness 1]]

    ]]]
end

to-report find-partner-bank
  let total sum [count banktobank-neighbors] of banks
  set total (total / 2)
  let partner-bank nobody
  ask banks [
    let nc count banktobank-neighbors
    if partner-bank = nobody [
      ifelse nc >= total
      [set partner-bank self]
      [set total (total * Grau_Enviesamento)]
    ]
    if partner-bank = nobody [
      ifelse nc >= total
      [set partner-bank self]
      [set total (total * Grau_Enviesamento)]
    ]
  ]
  report partner-bank
end

to make-consumer-links
  ask consumers [
    let c random (100 + 1)    if c <= 5 [
    repeat 3[
      ifelse enviesado?
      [create-bankstoconsumer-with find-partner-consumer [set color green]]
      [create-bankstoconsumer-with one-of banks [set color green]]
    ]
    if c > 5 and c <= 15 [
    repeat 2[
      ifelse enviesado?
      [create-bankstoconsumer-with find-partner-consumer [set color green]]
      [create-bankstoconsumer-with one-of banks [set color green]]
    ]
    if c > 15 and c <= 101 [
    repeat 1[
      ifelse enviesado?
      [create-bankstoconsumer-with find-partner-consumer [set color green]]
      [create-bankstoconsumer-with one-of banks [set color green]]
    ]
  ]

```

```

    ]]]
end

to-report find-partner-consumer
  let total (sum [count banktobank-neighbors] of banks + sum [count bankstoconsumer- neighbors] of
consumers)
  set total (total / 2 )
  let partner-consumer nobody
  ask banks [
    let nc (count banktobank-neighbors + count bankstoconsumer-neighbors)
    if partner-consumer = nobody [
      ifelse nc >= total
      [set partner-consumer self]
      [set total (total * Grau_Enviesamento)]
    ]
    if partner-consumer = nobody [
      ifelse nc >= total
      [set partner-consumer self]
      [set total (total * Grau_Enviesamento)]
    ]
  ]
  report partner-consumer
end

```

```

.....
..... Balanço .....
.....
.....

```

```

to depositos
  ask banks [
    set deposits [count bankstoconsumer-neighbors] of self
  ]
end

```

```

to devedores
  ask banks [
    set NIBC [count banktobank-neighbors] of self
  ]
end

```

```

to emprestimo-individual
  ask banks[
    set Pii ([deposits] of self / [NIBC] of self)
    set Pii (Pii * Coef.Mercado.IB)
    set IBC (Pii * [NIBC] of self)
  ]
end

```

```

to credores
  ask banks[
    ask other banks [
      if banktobank-neighbor? myself [
        set IBD (IBD + [Pii] of myself)
      ]
    ]
  ]
end

```



```

to Obrigacoes_Legais
  ask banks [
    set OL  $\text{R cio.OL} * (\text{deposits} + \text{IBD})$ 
  ]
end

to capita_social
  ask banks [
    set CPP  $(\text{R cio.Solv.} * (\text{deposits} + \text{IBD}) / (1 - \text{R cio.Solv.}))$ 
  ]
end

to Investimentos
  ask banks [
    set Iv  $(\text{deposits} + \text{IBD} + \text{CPP} - \text{IBC} - \text{OL})$ 
  ]
end

to moral_hazaard
  let mh  $(\text{Coef.Moral.Hazard} * \text{OL})$ 
  set IBC  $(\text{IBC} + \text{mh})$ 
  set OL  $(\text{OL} - \text{mh})$ 
  ask banks[
    set Pii  $([\text{deposits}] \text{ of self} / [\text{NIBC}] \text{ of self})$ 
    set Pii  $(\text{Pii} * \text{Coef.Mercado.IB})$ 
    set IBC  $(\text{Pii} * [\text{NIBC}] \text{ of self})$ 
  ]
  ask banks[
    ask other banks [
      if banktobank-neighbor? myself [
        set IBD  $(\text{IBD} + [\text{Pii}] \text{ of myself})$ 
      ]]]
end

to balancos
  ask banks [
    set Ativo  $(\text{IBC} + \text{Iv} + \text{OL})$ 
    set PassivoCP  $(\text{CPP} + \text{deposits} + \text{IBD})$ 
  ]
end

```

```

.....
..... Atualização dos Balanços .....
..... (Passo intermédio) .....
.....

```

```

to bancos_relacionados
  ask bank b [
    ask other banks [
      if banktobank-neighbor? myself [
        set IBC  $(\text{IBC} - [\text{Pii}] \text{ of myself})$ 
        set CPP  $(\text{CPP} - [\text{Pii}] \text{ of myself})$ 
      ]]]
end

```

```

to perda_financiamento
  ask bank b[
    ask other banks [
      if banktobank-neighbor? myself [
        set IBD (IBD - [Pii] of myself)
        let OLtemp OL
        set OL (Rácio.OL* (deposits + IBD))
        let OLdif (OLtemp - OL)
        let Ivtemp Iv
        set Iv (Iv - ((([Pii] of myself - Oldif) * (1 + Coef.Fire-Sale ))))
        let Ivdif Ivtemp - Iv
        set CPP (CPP - Ivdif - Oldif + [Pii] of myself)
      ]]]
end

```

```

.....
..... Atualização dos Balanços .....
..... (Passo final) .....
.....

```

```

to eliminar_banco_inical_e_consumidores
  ask consumers [
    if bankstoconsumer-neighbor? bank b [die]
  ]
  ask bank b [die]
  let total (sum [count banktobank-neighbors] of banks + sum [count bankstoconsumer- neighbors] of
consumers)
  ask consumers [
    if random-float (1 + 0.0001) < 1 [die]]
end

```

```

to atualizar_por_perda_clientes
  ask banks [
    let deptemp deposits
    set deposits [count bankstoconsumer-neighbors] of self
    let depdif (deptemp - deposits)
    let OLtemp OL
    set OL (Rácio.OL* (deposits + IBD))
    let OLdif (OLtemp - OL)
    let IBCtemp IBC
    set IBC (deposits * Rácio.Seg.Merc.IB)
    let IBCdif (IBCtemp - IBC)
    set Iv (Iv - (depdif - OLdif - IBCdif))
  ]
end

```

```

to perda_de_fianciamento_via_clientes
  ask banks[
    set Pii (deposits / NIBC)
    set Pii (Pii * Coef.Mercado.IB)
    set IBC (Pii * [NIBC] of self)
  ]
  ask banks [
    ask other banks [
      if banktobank-neighbor? myself [
        set IBD (IBD - [Pii] of myself)
        let OLtemp OL
        set OL (Rácio.OL* (deposits + IBD))

```

```

    let OLdif (OLtemp - OL)
    let Ivtemp Iv ; registrar o valor de Iv
    set Iv (Iv - ((([Pii] of myself - Oldif) * (1 + Coef.Fire-Sale ))))
    let Ivdif Ivtemp - Iv
    set CPP (CPP - Ivdif - Oldif + [Pii] of myself)
  ]]]
  set z 1
end

.....
..... Banco Central .....
.....

to Central_Bank
if BancoCentral? [
  ask banks with [CPP < 0 ] [
    if abs CPP < coef.BC * Iv [
      set IBC (IBC + abs CPP)
      set CPP (CPP + abs CPP)
    ]
  ]
end

.....
.....; Testar a Solvência (passo 2) .....
.....

to testar_solvencia
ifelse any? banks with [CPP < 0] [show (word " Houve falências ")] [show (word " Não há mais
falências, a simulação terminou ")]
  ask banks [
    if CPP < 0
    [
      .....
      ..... Atualização dos Balanços .....
      ..... (Passo intermédio) .....
      .....
    ]
  ]

  ask banks with [CPP < 0] [
    ask other banks [
      if banktobank-neighbor? myself [
        set IBC (IBC - [Pii] of myself)
        set CPP (CPP - [Pii] of myself)
      ]
    ]

    ask banks with [CPP < 0 ] [
      ask other banks [
        if banktobank-neighbor? myself [
          set IBD (IBD - [Pii] of myself)
          let OLtemp OL
          set OL (Rácio.OL* (deposits + IBD))
          let OLdif (OLtemp - OL)
          let Ivtemp Iv ; registrar o valor de Iv
          set Iv (Iv - ((([Pii] of myself - Oldif) * (1 + Coef.Fire-Sale ))))
          let Ivdif Ivtemp - Iv
          set CPP (CPP - Ivdif - Oldif + [Pii] of myself) ] ]

      .....
      ..... Atualização dos Balanços .....
      .....
    ]
  ]

```

```

..... (Passo final) .....
.....

to eliminar_banco_inical_e_consumidores
ask banks with [CPP < 0] [
ask consumers [
  if bankstoconsumer-neighbor? myself [die] ]]
ask banks with [CPP < 0] [die]
]]
end
to acertar
let total (sum [count banktobank-neighbors] of banks + sum [count bankstoconsumer- neighbors] of
consumers)
ask consumers [
  if random-float (1 + 0.0001) < 1 [die] ]

ask banks [
  let deptemp deposits
  set deposits [count bankstoconsumer-neighbors] of self
  let depdif (deptemp - deposits)
  let OLtemp OL
  set OL (R cio.OL* (deposits + IBD))
  let OLdif (OLtemp - OL)
  let IBCtemp IBC
  set IBC (deposits * R cio.Seg.Merc.IB)
  let IBCdif (IBCtemp - IBC)
  set Iv (Iv - (depdif - OLdif - IBCdif))
]

  ask banks[
  set Pii (deposits / NIBC)
  set Pii (Pii * Coef.Mercado.IB)
  set IBC (Pii * [NIBC] of self)
  ]
  ask banks [
  ask other banks [
    if banktobank-neighbor? myself [
      set IBD (IBD - [Pii] of myself)
      let OLtemp OL ; registrar o valor das OL
      set OL (R cio.OL* (deposits + IBD))
      let OLdif (OLtemp - OL)
      let Ivtemp Iv ; registrar o valor de Iv
      set Iv (Iv - ((([Pii] of myself - Oldif) * (1 + Coef.Fire-Sale ))))
      let Ivdif Ivtemp - Iv
      set CPP (CPP - Ivdif - Oldif + [Pii] of myself)
    ]]]
  end

.....
..... Layout .....
.....

to shape-size
  if all? banks [size <= 1]
  [
    ask banks [ set size sqrt (count banktobank-neighbors + count bankstoconsumer-neighbors) ]
  ]
end

```

7. Bibliografia

Agência Lusa (2010), “Mais de metade dos portugueses tem apenas uma conta bancária” http://www.dn.pt/inicio/economia/interior.aspx?content_id=2108101&page=-1 acedido em 10 de Junho 2013.

Allen F., and Gale D. (1998) “Optimal Financial Crises”, *Journal of Finance* 53(4): pp. 1245-1248.

Allen F., and Gale D. (2000) “Financial Contagion”, *Journal of Political Economy* 108(1): pp. 1-34

Becher C., Millard S., e Soramaki K., (2008) ”The network topology of chaps sterling”. Bank of England working papers 355, Bank of England.

Benjamin H. (2009) “What's so Moral about the *Moral Hazard*?” *Public Affairs Quarterly*, Vol.23, Nº 1, pp. 1-25.

Bernanke Ben S. (1983) “Nonmonetary Effects of the Financial Crisis in Propagation of the Great Depression.” *The American Economic Review* 73: pp. 257-76.

Bernanke Ben S., e Gertler M., (1989) “Agency Costs, Net Worth, and Business Fluctuations.” *The American Economic Review* 79: pp. 14-31.

Blavarg M., e Nimander P., (2002) “Interbank exposures and systemic risk”, in *Risk measurement and systemic risk*, Bank for International Settlements.

Boletim Informativo, Associação Portuguesa de Bancos, (2011) Nº 47 http://www.apb.pt/content/files/Boletim_Informativo_Anuar_N47.pdf acedido a 10 de Junho de 2013

Boss M., Elsinger M., Summer M., e Thurner S., (2004b) “*The network topology of the interbank market*”, *Quantitative Finance*, 4(6): pp.677–684.

Brink N., e Georg C. P., (2011), “Systemic risk in the south african interbank overnight market”, Discussion Paper DP/11/01, South African Reserve Bank.

Cajueiro D. O., e Tabak., B., M., (2007) “The role of banks in the brazilian interbank market: Does bank type matter?” “ Working Paper 130, Banco Central do Brasil, Research Department.

Campos P. (2007) “Organizational Survival and the Emergence of Collaboration Networks: a Multi-Agent approach”, Tese de Doutorado, Faculdade de Economia da Universidade Porto

Chang E. J., Lima E. J. A., Guerra S. M., e Tabak B. M., “Measures of interbank market structure: An application to brazil”, *Brazilian Review of Econometrics*, 28(2): pp.163–189.

Chan-Lau J.A., 2009a, “The Global Financial Crisis and its Impact on the Chilean Banking System,” mimeo (Washington, DC: FMI)

Chan-Lau J.A., Espinosa M., Giesecke K., e Solé J., 2009, “Assessing the Systemic Implications of Financial Linkages,” Cap. 2 em Global Financial Stability Report, Abril (FMI).

Cuttilli L., De Marco G., Donnini C., (2012), “Networks of Financial Contagion”, in *Advanced Dynamic Modeling of Economic and Social Systems*, Studies in Computational Intelligence Volume 448, 2013, pp 31-48 Springer

Degryse H., e Nguyen G., (2007), “Interbank exposures: An empirical examination of contagion risk in the Belgian banking system”, *International Journal of Central Banking*, 3(2): pp.123–171

Dembe Allard E. e Boden Leslie I. (2000). "Moral Hazard: A Question of Morality?" *New Solutions* 2000 10(3): pp. 257-279

Diamond D., Dybvig P., (1983) “Bank Runs, Deposit Insurance, and liquidity”, *Journal of Political Economy* 91(3): pp. 401-419.

Eboli M., (2004) ‘Systemic risk in financial networks: a graph theoretic approach’, mimeo, Università di Chieti Pescara.

Erdős P., and Rényi A., (1959), ‘On random graphs’, *Publicationes Mathematicae*, Vol.6, pp. 290-97.

Financial Sector Development Indicators (2006), “Measuring banking sector development”, World Bank, <http://siteresources.worldbank.org/INTTOPACCFINSER/Resources/Banking.pdf>, acedido em 10 de Junho de 2013

Freixas X., Parigi B., Rochet J. C., (2000) “Systemic risk, interbank relations and liquidity provision by Central Bank”, *Journal of Money Credit and Banking* 32(3): pp.611:638.

Friedman M., e Schwartz, A. J., (1963) “*A Monetary History of the United States, 1867-1960.*” Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Furfine C., (1999), “Interbank exposures: quantifying the risk of contagion”, Bank for International Settlements Working Papers 70, Bank for International Settlements.

Gabrieli S., (2010) “The functioning of the european interbank market during the 2007-08 financial crisis”, CEIS Research Paper 158, Tor Vergata University, CEIS.

Gabrieli S., (2011) “The microstructure of the money market before and after the financial crisis: a network Perspective”, CEIS Research Paper 181, Tor Vergata University, CEIS.

Gilbert, N. and K. Troitzsch (1999), “*Simulation for the Social Scientist*”, Buckingham, Open University Press

Grassberger P., (1983), ‘On the critical behaviour of the general epidemic process and dynamical percolation’, *Mathematical Biosciences.*, Vol. 63, pp. 157-72.

Greenes T., Carner M., Koehler-Geib F. (2010) “Finding Tipping Points – When Sovereign Debt goes bad”, working paper, The World Bank.

Hagan W.D., 2009, “House of Cards: A Tale of Hubris and Wretched Excess on Wall Street” (New York: Doubleday).

Iori G., Masi G., Precup O. V., Gabbi G., e Caldarelli G., (2008) “A network analysis of the italian overnight money market”. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(1): pp. 259–278

Jennings, N.R. (2000), “On agent-based software engineering,” *Artificial Intelligence* 17: pp. 277-296.

Kirman A. (1993) “Ant, Rationality, and Recruitment.”, *The Quarterly Journal of Economics* 108(1): pp. 137-156

Kullback, S., Leibler, R.A. (1951). "On Information and Sufficiency", *Annals of Mathematical Statistics* 22 (1): pp. 79–86

Lamberson P, J., Scott E. Page, (2012) *Tipping Points, Quarterly Journal of Political Science*. 7: pp. 175-208

Lelyveld I., e Liedorp F., (2004), “Interbank contagion in the dutch banking sector”, DNB Working Papers 005, De Nederlandsche Bank, Research Department.

Gladwell M. (2007), *A Chave do Sucesso, The Tipping Point*, Dom Quixote

Manna M., e Iazzetta C., (2009) “The topology of the interbank market: developments in Italy since 1990”,. Temi di discussione (Economic working papers) 711, Bank of Italy, Economic Research Department.

Markose S., Shaghaghi A. R., e Giansante S. (2012) ““Too Interconnected To Fail Financial Network of US CDS Market: Topological Fragility and Systemic Risk” *Journal of Economic Behavior and Organization (JEBO)*

Mistrulli P. E., (2007), “Assessing financial contagion in the interbank market: Maximum entropy versus observed interbank lending patterns”, Temi di discussione (Economic working papers) 641, Bank of Italy, Economic Research Department.

Sheldon G., e Maurer M., (1998), “Interbank lending and systemic risk: An empirical analysis for Switzerland. *Swiss Journal of Economics and Statistics (SJES)*, 134(IV): pp.685–704.

Tesfatsion L. (2005), “Agent-Based Computational Economics: A constructive approach to Economic Theory”, Economic Department, Iowa State University, Ames, IA 50011-1070

Watts D., 2002, “A Simple Model of Global Cascades on Random Networks,” Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 99, pp. 5766 – 71.

Wells S. (2004) “Financial interlinkages in the United Kingdom’s interbank market and the risk of contagion”, Bank of England Working Papers 230, Bank of England,