

Ricardo Vieira Barroso

Modelo Dinâmico Computacional de Rede de Bancos

Orientador: Daniel de Oliveira Cajueiro

Brasília

2011

Ricardo Vieira Barroso

Modelo Dinâmico Computacional de Rede de Bancos

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Economia da Universidade de Brasília como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas.

Orientador: Daniel de Oliveira Cajueiro

Brasília

2011

Ricardo Vieira Barroso

Modelo Dinâmico Computacional de Rede de Bancos

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Economia da Universidade de Brasília como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas.

Prof. Daniel Oliveira Cajueiro - Orientador

Programa de Mestrado em Economia da Universidade de Brasília

Prof. José Guilherme de Lara Resende - Membro interno

Programa de Mestrado em Economia da Universidade de Brasília

Doutor Mardílson Fernandes Queiroz - Membro externo

Banco Central do Brasil

Brasília, junho de 2011

Resumo

Este trabalho apresenta um modelo dinâmico computacional de rede de bancos que permite o estudo do impacto de medidas regulatórias ou de alterações na estrutura do mercado interbancário sobre a resiliência da rede a choques extremos. Ao contrário de outros estudos nesta área, que em geral se baseavam em modelos estáticos onde as inter-relações bancárias eram determinadas exógenamente ou de forma aleatória, o modelo proposto procura dotar os bancos de capacidade de aprendizado, de forma que essas inter-relações surjam endogenamente em resposta às restrições dos mercados nos quais os bancos atuam e às mudanças dos parâmetros representativos das medidas regulatórias. Adicionalmente, o modelo permite elevado grau de heterogeneidade entre os bancos, tornando bastante amplo o leque de questões que poderiam ser estudadas a partir dele. Os resultados apresentados, utilizando variáveis agregadas do modelo, mostram que os bancos efetivamente aprendem a otimizar suas ações em busca da maximização de seus lucros e respondem de acordo com o esperado para determinadas mudanças nos parâmetros do modelo. As relações interbancárias surgem naturalmente, com a liquidez excedente de alguns bancos fluindo para outros bancos com escassez de liquidez, aumentando a capacidade de o sistema bancário assim construído emprestar para a economia real. Alguns resultados interessantes também podem ser observados ao submeter o modelo a choques de estresse, particularmente o fato de que o aumento da exigência de capital para os bancos diminui drasticamente o número de inadimplências no caso de choques macroeconômicos, não sendo, no entanto, tão efetivo para evitar o risco sistêmico (contágio) no caso de choques externos em apenas um banco da rede por vez. Ao contrário, a introdução de uma câmara de pagamentos com garantias reduz a possibilidade de risco sistêmico de forma significativa para os dois tipos de choques.

Palavras-chave: rede de bancos, modelo dinâmico, aprendizado, regulação.

Abstract

This study presents a computational dynamic model of a bank network to study the impact of regulatory measures or changes in the structure of the interbank market on the network resilience to external shocks. Unlike other studies in this area, which generally relied on static models where the inter-bank relationships were determined exogenously and randomly, the proposed model provides the banks the ability to learn, so that these interrelationships emerge endogenously in response to restrictions in the markets in which the banks operate and to the change of parameters representative of regulatory measures. Additionally, the model allows a high degree of heterogeneity among banks, making it possible to study a wide range of issues. The results, using aggregate variables of the model, show that banks actually learn to optimize their actions in pursuit of maximizing profits and they respond as expected to certain changes in model parameters. The inter-bank relationship arises naturally, with the surplus liquidity of some banks flowing to other banks with liquidity shortages, increasing the capacity of the banking system to lend to the real economy. Some interesting results can also be observed by subjecting the model to shocks of stress, particularly the fact that increased capital requirements for banks will dramatically reduce the number of defaults in the case of macroeconomic shocks, despite, however, not being as effective to avoid systemic risk (contagion) in the case of external shocks in only one bank of the network at a time. In contrast, the introduction of a clearing house with guarantees reduces significantly the possibility of systemic risk for both types of shocks.

Keywords: banking, dynamic model, learning, regulation.

JEL classification: G18, G21.

Sumário

1	Introdução	9
2	Revisão Bibliográfica	11
2.1	Modelagem baseada em agentes	11
2.2	Redes de bancos	14
2.3	Corrida bancária e Regulação	15
3	Objetivos	17
4	Metodologia	17
4.1	Características dos bancos	18
4.2	Composição do ativo	18
4.3	Composição do passivo	20
4.4	Estratégia	21
4.5	Mercado interbancário	22
4.6	Método de aprendizado	24
4.7	Sequência de eventos	24
4.8	Metodologia de simulação	27
5	Resultados	28
5.1	Configurações	28
5.2	Variáveis	30
5.3	Simulação	31
5.3.1	Configuração 1: Capital 7,5%	31
5.3.2	Configuração 2: Liquidez 15%	34
5.3.3	Configuração 3: Risco empréstimo economia real 10%	34
5.3.4	Configuração 4: Desvio padrão dos depósitos 10%	37
5.3.5	Configuração 5: Sem mercado interbancário	37
5.3.6	Configuração 6: Câmara	40
5.4	Testes de estresse	41
5.4.1	Choque Macroeconômico	41
5.4.2	Choque Microeconômico	42
6	Conclusões	43
	Referências	45

Lista de Figuras

1	Capital 7,5%	33
2	Liquidez 15%	35
3	Risco empréstimo economia real 10%	36
4	Desvio padrão dos depósitos 10%	38
5	Sem mercado interbancário	39
6	Câmara	40

Lista de Tabelas

1	Classes de ativos	19
2	Classes de passivos	20
3	Choque Macroeconômico	41
4	Choque Microeconômico	42

1 Introdução

A manutenção da estabilidade financeira é um dos principais objetivos das autoridades regulatórias de países com sistema financeiro desenvolvido, haja vista os efeitos devastadores de uma crise financeira sistêmica na economia de um país. A regulação bancária surge, assim, como uma das ferramentas disponíveis ao regulador para que esse objetivo seja alcançado, e é justificada tanto pela existência de externalidades negativas que a falha de um banco pode gerar sobre seus clientes, incluindo aí outros bancos, como também por problemas de assimetria de informação. De forma usual, diz-se que os instrumentos de regulação bancária têm como objetivo criar uma rede de segurança que proteja os clientes do risco de falência de seu banco (Freixas and Rochet, 1997).

Dentre os instrumentos disponíveis destacam-se seis tipos comuns (Freixas and Rochet, 1997): teto na taxa de juros de depósitos, restrições à entrada/fusão/ramificação, restrições no portfólio, seguro depósito, requerimento de capital e monitoramento. Tendo em vista os acordos de Basiléia I e Basiléia II¹, destaca-se que o requerimento de capital é o primeiro pilar para assegurar a solvência de um banco. Esse instrumento baseia-se na avaliação de risco dos ativos do banco, dimensionando a quantidade de capital de forma que, mesmo em situações extremas de perdas, a valorização de seus ativos seja superior ao seu passivo junto aos credores. Parte-se então do pressuposto que, ao se garantir a solvência de cada banco, o sistema financeiro como um todo estará imune a uma crise financeira sistêmica.

No entanto, a crise de 2007/2008² gerou uma série de críticas com relação a esta abordagem tradicional para garantir a estabilidade financeira. Ficou evidente que, mesmo assegurando-se a solvência de cada banco, não necessariamente atinge-se o equilíbrio desejado pelas autoridades regulatórias, podendo ocorrer crises de confiança e corridas bancárias mesmo nos casos em que as instituições afetadas atendam aos requisitos mínimos estabelecidos.

Um exemplo típico é o banco de investimento americano Bear Sterns, adquirido pelo JP Morgan Chase no ápice da crise, em março de 2008. Como argumenta Christopher Cox³, na época membro do conselho da Securities and Exchange Commission, a falência do Bear Sterns foi o resultado da falta de confiança, e não da falta de capital. Continuando, ele explica que, durante todo o transcorrer da crise, o Bear Sterns tinha um volume de capital bem acima daquele requerido para o atendimento das exigências regulatórias da Basiléia II. Porém, os saques dos

¹O acordo de Basiléia I, de 1988, instituiu um requerimento mínimo de capital de 8% para os bancos comerciais, criando penalidades para ativos mais arriscados (*risk weighted assets*). O acordo de Basiléia II, de 2006, introduziu mais dois “pilares” para a regulação bancária. Além do pilar 1, representado pelo requerimento de capital, tratou da função expandida da supervisão bancária para a avaliação da adequação do capital dos bancos e da necessidade de que os bancos publiquem relatórios financeiros detalhados sobre seu perfil de risco, como forma de permitir a disciplina do mercado (BIS).

²Crise financeira que teve origem com as perdas com hipotecas de alto risco (*sub-prime loans*) de diversas instituições financeiras importantes, levando muitas delas à falência ou à necessidade de aporte de recursos públicos (Financial Crisis Inquiry Commission USA, 2011).

³Em carta aberta ao diretor do Comitê de Supervisão Bancária da Basiléia, datada de 20.3.08, publicada no *website* do SEC: <http://www.sec.gov/news/press/2008/2008-48.htm>

clientes (principalmente *hedge funds*) e a incapacidade de rolar seus financiamentos de curto prazo tornaram impossível a sobrevivência do banco, forçando sua aquisição pelo JP Morgan. O problema, portanto, estava relacionado ao passivo do banco, muito mais do que aos seus ativos, foco da regulação prudencial.

Esta crise levou a diversas propostas de melhorias nos instrumentos de regulação bancária, culminando com o acordo de Basiléia III em 2010. Este acordo propõe novos padrões de capital, liquidez e alavancagem para fortalecer a regulação, supervisão e gerenciamento de risco do setor bancário. Os novos padrões de capital irão requerer que os bancos mantenham capital de melhor qualidade e em níveis acima daqueles requeridos pelo acordo de Basiléia II. A nova restrição do nível de alavancagem introduz uma medida que não é baseada em risco para complementar os requerimentos de capital baseados no risco dos ativos. Finalmente, novos parâmetros de liquidez mínima têm como objetivo garantir que uma adequada fonte de financiamento seja mantida durante um crise (Basel Committee on Banking Supervision, 2010).

Diante deste cenário de mudanças, percebe-se a necessidade de que o regulador tenha a sua disposição instrumentos para avaliar a eficácia das medidas propostas, antes de sua efetiva implementação. Esta avaliação se insere no contexto da abordagem *positiva* da regulação, ou “análise regulatória”. Seu objetivo é analisar as consequências de uma medida regulatória que já existe ou está em estudo pelas autoridades (Freixas and Rochet, 1997).

O próprio acordo de Basiléia III, por exemplo, gerou grande debate acerca dos efeitos das novas exigências de capital, de liquidez e de alavancagem sobre o crescimento econômico de médio e de longo prazo. Entre outras questões relevantes de investigação, pode-se citar também a capacidade de as medidas regulatórias tornarem o sistema financeiro mais resiliente a choques extremos, o impacto de mudanças na estrutura do mercado interbancário sobre a estabilidade do sistema financeiro e a atuação do Banco Central como emprestador de última instância.

Cabe ressaltar que uma rede de bancos possui características de um sistema complexo pois situações de equilíbrio, como a solvência de cada banco da rede, não podem ser analisadas individualmente, mas sim dependem da forma como foram construídas as relações entre os bancos e da organização do mercado em que atuam. Aliado a isto, a alta heterogeneidade dos bancos, diferindo em tamanho, nicho de atuação, base de clientes e outros fatores, dificulta a utilização de modelos com agentes representativos para avaliar o impacto de medidas regulatórias sobre a estabilidade do sistema bancário.

Destaca-se também que a simples avaliação de uma medida regulatória tendo por base o *status quo* do sistema bancário não considera o fato de que os bancos poderão readaptar suas operações em resposta a essa medida, muitas vezes anulando seus efeitos⁴. Daí a importância de que a análise seja feita considerando os novos equilíbrios que surgirão com sua regulamentação.

⁴Este argumento remete à Crítica de Lucas, nomeada com base no trabalho de Robert Lucas em políticas macroeconômicas, o qual argumentou serem inválidas para efeito de política econômica as conclusões extraídas de modelos macroeconômicos baseados em dados históricos. Segundo ele, como os parâmetros do modelo não são invariantes às políticas econômicas adotadas, eles iriam se alterar juntamente com as mudanças pretendidas em termos de política (Lucas, 1976) .

O foco deste estudo está, portanto, nos instrumentos de avaliação de medidas de regulação bancária. O trabalho contribuiu com esta questão ao propor um modelo dinâmico do sistema bancário que emulasse o comportamento otimizador de lucros dos bancos, condicionado às restrições impostas pela estrutura dos diversos mercados nos quais o banco está inserido (empréstimos para a economia real, interbancário e depósitos de clientes) e pela regulação bancária. Para isso, utilizou-se o ferramental de modelagem baseada em agentes (*ABM - agents based modelling*) para simular uma rede de bancos e sua interação com a economia real, com o Banco Central, com seus clientes e entre si. Construiu-se o modelo de forma que seja parametrizável o suficiente para incorporar tanto a heterogeneidade existente em um sistema bancário como a amplitude de medidas regulatórias passíveis de serem implementadas.

O escopo do trabalho se limitou ao estudo das seguintes medidas regulatórias no âmbito do modelo desenvolvido: aumento da exigência de capital e de liquidez mínimos para os bancos e a inclusão de uma câmara de pagamentos com garantias para a liquidação das operações interbancárias. Também foi analisada a resposta do modelo a mudanças em alguns parâmetros relacionados aos mercados em que os bancos atuam, como a variância dos depósitos dos clientes ou a taxa de inadimplência dos tomadores de empréstimos para a economia real.

O trabalho está organizado da seguinte forma. O capítulo 2 contém a revisão bibliográfica, concentrando-se em três assuntos pertinentes para a construção do modelo: modelagem baseada em agentes, redes de bancos e corrida bancária/regulação. O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a construção do modelo e para a realização das simulações subsequentes. O capítulo 4 descreve os resultados encontrados e o capítulo 5 apresenta as conclusões finais e as sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

A revisão da literatura será feita abordando três temas: i) modelagem baseada em agentes, ii) redes de bancos, iii) corrida bancária e regulação. Pretende-se apresentar os principais artigos de cada área, buscando ressaltar as ideias que serviram de fundamento para a construção do modelo dinâmico de rede de bancos.

2.1 Modelagem baseada em agentes

Neste tópico será apresentado breve resumo sobre o conceito da modelagem baseada em agentes na economia, suas vantagens e desvantagens em relação a outros tipos de modelagem, e alguns exemplos de sua aplicação.

Tesfatsion (2006a) apresenta uma visão detalhada sobre o tema, utilizando o termo *agent-based computational economics* (ACE) para se referir a este tipo de modelagem. ACE é definido como o estudo computacional de processos econômicos modelados como sistemas dinâmicos de agentes capazes de interagir entre si. Agente aqui se refere a um conjunto de dados e métodos

de comportamento “encapsulados” que representam uma entidade no mundo construído computacionalmente. Podem englobar indivíduos (consumidores, firmas), grupos sociais (firmas, governo) e instituições (mercado, sistemas regulatórios), entre outros tipos.

Tesfatsion (2006a) explica que a ACE destina-se principalmente ao estudo de sistemas complexos, compostos por entidades que interagem entre si e que, por consequência, exibe propriedades não observadas nas entidades individualmente. Como um experimento em laboratório, o pesquisador começa construindo computacionalmente um mundo composto por múltiplos agentes e definindo o estado inicial do sistema econômico. A partir daí, passa a observar o seu desenvolvimento ao longo do tempo. O modelo deve ser dinamicamente completo, no sentido de que, uma vez iniciada a simulação, não é necessária mais a intervenção do pesquisador.

Entre os principais ramos de pesquisa da ACE, destaca-se aquele relacionado ao *entendimento normativo*: como modelos baseados em agentes podem ser usados como experimentos para a descoberta de bons desenhos econômicos? O interesse aqui é avaliar se os projetos propostos para as políticas econômicas, para instituições ou para processos irão resultar em um desempenho socialmente desejável do sistema econômico ao longo do tempo. Um mundo baseado em agentes é construído de forma a capturar os aspectos mais importantes do sistema econômico que se deseja estudar. Ele é, então, preenchido por agentes com motivações privadas e com capacidade de aprendizado, permitindo-se seu desenvolvimento ao longo do tempo. A questão fundamental é em que medida os resultados de equilíbrio são eficientes e justos, apesar das tentativas feitas pelos agentes em obter vantagens individuais por meio de um comportamento estratégico.

LeBaron (2000) aponta que a modelagem de mercados econômicos de cima para baixo com um grande número de agentes interagindo é uma área promissora de metodologia de pesquisa. Tenta-se, assim, modelar as interações começando da perspectiva do agente, utilizando ferramentas computacionais para ultrapassar as barreiras impostas pelos métodos analíticos. Modelos baseados em agentes, quando utilizados para mercados financeiros, ressaltam a interação e a dinâmica de aprendizado de um grupo de agentes aprendendo a relação entre preços e informações de mercado. O que se tenta, neste caso, é resolver problemas que incluem heterogeneidade entre os agentes, tornando praticamente impossível uma solução analítica. Os agentes são em geral de diversos tipos e comportamento, sendo que se permite a mudança desse comportamento em resposta ao desempenho no passado.

LeBaron and Tesfatsion (2008) indicam três critérios que devem ser atendidos na construção desses modelos. Primeiramente, o modelo deve possuir uma taxonomia adequada dos agentes baseada em evidências empíricas. Em segundo lugar, a escala do modelo deve ser apropriada para as necessidades da proposta em questão, buscando o balanço ideal entre sofisticação e simplicidade. Por fim, as especificações do modelo devem ser submetidas à avaliação empírica, no sentido de oferecer respostas genuínas sobre as relações causais estudadas.

Entre as vantagens da modelagem baseada em agentes, Tesfatsion (2006a) aponta, no âmbito da organização industrial, a possibilidade de se criar agentes cientes tanto das alternativas

de competição como de cooperação com outros agentes. Do ponto vista macroeconômico, a criação de protocolos de mercado e outras instituições restringindo as interações entre os agentes podem constituir aspectos explícitos da modelagem econômica com o uso da ACE. No entanto, talvez a vantagem mais importante da ACE seja a possibilidade de se criar agentes com habilidades mais realistas de aprendizado e de interação social do que as pressupostas no tradicional *homo economicus*. Essas habilidades incluem: comunicação social, experimentação com novas ideias, capacidade de formar e manter padrões de interação (como redes de negócios), entre outras.

A ACE também se diferencia dos modelos tradicionais pois, em vez de focar os estados de equilíbrio do sistema, observa se algum tipo de equilíbrio se desenvolve ao longo do tempo. O objetivo é adquirir melhor entendimento de todo o processo que leva o sistema a um ou mais equilíbrios, e suas bases de atração.

Quais seriam as desvantagens da ACE relativas às abordagens mais tradicionais de modelagem? Testfation menciona duas desvantagens básicas. A primeira é o fato de que o modelo deve ser dinamicamente completo, o que requer especificações detalhadas dos dados dos agentes e dos arranjos institucionais e comportamentais. O modelo precisa, então, ser robusto a pequenas alterações nessas especificações, para se atingir resultados relevantes. Outra desvantagem se refere à dificuldade em validar os resultados do modelo ACE vis-à-vis dados empíricos, uma vez que a ACE gera uma distribuição de possíveis resultados de equilíbrio, em contraste com o mundo real que oferece uma única 'realização' da série de dados.

Exemplos de aplicações da ACE envolvem desde mercados financeiros até modelagens macroeconômicas. Tesfatsion (2006b) constrói o chamado *ACE Trading World*, constituído por um número finito de firmas produtoras de carne, de firmas produtoras de feijão e de consumidores que derivam utilidade do consumo de carne e de feijão. O modelo mostra as dificuldades em substituir a função do leiloeiro Walrasiano para a determinação do preço de equilíbrio de mercado por um processo mais próximo da realidade, que considera a interação entre firmas e consumidores com capacidade de aprendizado.

LeBaron (2000) apresenta o resumo de artigos de diversos autores utilizando a modelagem baseada em agentes para descrever o funcionamento de mercados financeiros. Em um deles, Lettau (1997) constrói um mundo onde os agentes devem decidir quanto comprar de um ativo arriscado que paga dividendos no período seguinte e de um ativo sem risco. O interesse, aqui, é em quão perto mecanismos de aprendizado e de evolução aproximam o equilíbrio final da solução ótima encontrada de forma analítica.

Pouget (2007) apresenta um modelo de mercados financeiros habitados por negociadores com capacidade adaptativa. Ele utiliza dois tipos de mecanismos de mercado - *call market* e *Walrasian tatonnement* - ambos com o mesmo equilíbrio de Nash, e também dois tipos de processos de aprendizado - *belief-based model* e *reinforcement-based model*. O artigo conclui que no mecanismo *Walrasian tatonnement*, basta o menor nível de capacidade de aprendizado (*belief-based model*) para que se atinja o equilíbrio, o que não ocorre no *call market*, onde

somente com o *reinforcement-based model* o equilíbrio é atingido.

2.2 Redes de bancos

A forma como os bancos se conectam e interagem também constitui importante campo de investigação, principalmente para o estudo dos efeitos sistêmicos de uma crise financeira. Pretende-se mostrar, neste tópico, alguns artigos que avaliam como a conectividade entre bancos, principalmente por meio do mercado interbancário, pode afetar a estabilidade financeira. Em sua grande parte, os modelos aqui apresentados são estáticos, sendo que a configuração da rede ou das conexões entre os bancos é determinada de forma aleatória ou com base em dados reais do sistema financeiro de algum país em estudo. O tópico se insere no contexto deste trabalho por apresentar sugestões de modelagem das relações interbancárias e entre bancos e economia real. Também apresenta alguns tipos de choques passíveis de serem aplicados à rede de bancos e indicadores para medir a importância e a função de um banco dentro de uma rede complexa.

Nessa linha, trabalhos importantes como os de Allen and Gale (2000) e Freixas et al. (2000) sugerem que o risco de contágio depende da configuração do mercado interbancário e da interconectividade entre suas instituições participantes. Allen and Gale (2000) apresentam uma modelagem simples para reforçar a intuição de que o grau de fragilidade do sistema financeiro depende da configuração das relações interbancárias. Numa estrutura diversificada, por exemplo, o choque em uma instituição poderia ser facilmente absorvido pelas demais. No caso em que as instituições possuem poucas contrapartes, a propagação do choque fica concentrada em poucas instituições, o que pode ter efeitos amplificadores do choque inicial.

Ainda nesta linha, Iori et al. (2006) utilizam modelagem baseada em agentes para simular uma rede de bancos interagindo no mercado interbancário. Cada banco recebe choques de investimento e depósito, criando risco de liquidez. O estudo foi feito tanto com bancos homogêneos, onde se observou que o mercado interbancário ajuda na estabilização do sistema, como com bancos heterogêneos, onde o mercado interbancário tem um efeito ambíguo, tanto ajudando na estabilização do sistema, como permitindo a propagação do efeito dominó.

Também Nier et al. (2007) estudam de que forma o risco sistêmico é afetado pela estrutura do sistema financeiro. Para isso, constroem um sistema de bancos estático conectados entre si por ligações interbancárias e variam diversos parâmetros que definem a estrutura do sistema financeiro, como nível de capitalização, grau de conectividade dos bancos, grau de concentração bancária e outros. Dessa forma, é feita a análise da probabilidade de ocorrência de contágio a partir de choques individuais nos bancos pertencentes à rede. Entre outros resultados, verificou-se que o efeito do aumento da conectividade entre os bancos não é monotônico. Ou seja, um aumento inicial pequeno na conectividade aumenta a possibilidade de contágio, mas, após certo nível, o aumento da conectividade melhora a habilidade dos bancos em absorver choques.

Introduzindo um componente informacional na modelagem, Anand et al. (2009) utilizam

modelagem baseada em agentes e a literatura de *global games* para construir uma rede de bancos e verificar como a perda de confiança pode causar um colapso no sistema financeiro. Os bancos realizam negociações de empréstimos bilaterais entre si. Não há choques externos, apenas a disseminação periódica e aleatória de informações sobre a situação financeira dos agentes. O artigo mostra que a chegada de más notícias pode fazer com que os agentes percam a confiança entre si, o que pode se espalhar por todo o sistema.

Elsinger et al. (2006) propõem um novo modelo de análise de risco dos bancos, combinando a abordagem tradicional de avaliação de risco com a modelagem da rede de bancos. Para isso, utilizam dados reais do Banco Central da Áustria, tanto das carteiras dos bancos como de suas exposições interbancárias. A partir de cenários econômicos de risco (choques de taxa de juros, movimentos de câmbio, perdas em empréstimos, mudanças no preço de ações), os bancos são expostos ao mesmo choque simultaneamente e suas implicações são analisadas por meio do modelo de rede de bancos. Se o patrimônio líquido de um banco ficar negativo e ele não for capaz de pagar na totalidade suas obrigações interbancárias, a propagação deste choque pode ser estudada por meio da rede de bancos modelada. O estudo encontrou, para o sistema bancário austríaco, poucos cenários nos quais se verificou contágio. Porém, nestes cenários, o número de bancos atingidos pela propagação do choque é alto. Outro resultado interessante do modelo é a possibilidade de determinar endogenamente as probabilidades de quebra de cada banco seja por movimentos de mercado, seja por contágio de outros bancos.

Finalmente, Cajueiro and Tabak (2008) analisam o mercado interbancário brasileiro com uma abordagem de redes complexas. O objetivo do artigo foi o de responder diversas questões relacionadas ao funcionamento deste mercado, como, por exemplo, a relação entre grandes bancos e *money centers*, se os grandes bancos também são os maiores credores do sistema ou quais são os bancos sistemicamente mais importantes, entre outras. O artigo procurou responder essas questões identificando o papel e a estratégia de cada banco participante da rede, utilizando dados reais do sistema bancário e diversas medidas adaptadas da teoria de redes complexas.

2.3 Corrida bancária e Regulação

Neste tópico será abordado, inicialmente, o modelo de Diamond and Dybvig (1983) para corrida bancária. Ainda que se diferencie da proposta de modelagem baseada em agentes, o modelo de Diamond-Dybvig contribuiu para realização deste trabalho por apresentar algumas ideias úteis ao modelo proposto, tais como a adoção do ciclo de três períodos para diferenciar a liquidez das diferentes tecnologias de armazenamento. Em seguida, serão discutidos alguns trabalhos abordando a regulação bancária e o seu papel à luz das crises recentes. O objetivo, no contexto da monografia, é apresentar que tipos de mudanças na regulação bancária estão em estudo e que poderiam ser avaliadas por meio do modelo dinâmico de bancos.

Diamond-Dybvig traz um modelo de três períodos (0, 1 e 2) e um único produto que pode ser armazenado até o período 1, sem gerar retorno, e até o período 2, gerando retorno de $R > 1$

para cada unidade investida. No período 0, o consumidor não conhece o seu tipo, que pode ser 1, com probabilidade π_1 e 2, com probabilidade π_2 . O consumidor do tipo 1 só se importa com o consumo no período 1, enquanto que o do tipo 2 só se importa com o consumo no período 2. Um sistema bancário com reserva fracionária coleta depósitos dos consumidores por meio de um contrato de depósito que determina os montantes C1 e C2 que podem ser sacados nos períodos 1 e 2, respectivamente.

O modelo chega a três importantes conclusões. Primeiro, ao emitir contratos de depósitos em um mercado competitivo, bancos podem prover melhor alocação de risco entre pessoas que precisam consumir em diferentes momentos e, assim, melhorar o bem-estar social. Segundo, o contrato de depósito que provê esta melhoria possui um equilíbrio indesejado (corrida bancária) no qual todos os depositantes sacam seus recursos imediatamente, incluindo aqueles que prefeririam manter os depósitos se não estivessem preocupados com a falha do banco. Terceiro, corridas bancárias efetivamente causam problemas econômicos, pois mesmo bancos saudáveis podem falhar, causando a interrupção do financiamento do setor produtivo. Adicionalmente, o modelo permite analisar medidas regulatórias normalmente utilizadas para prevenir corridas bancárias, como a suspensão da convertibilidade e o seguro depósito (que funciona de maneira similar à função de emprestador de última instância do Banco Central).

Morris and Shin (2008) trazem uma discussão interessante e atual a respeito do papel da regulação bancária em um contexto sistêmico. Diante da crise de 2007/2008, criticam a tradicional abordagem de requerimento de capital regulatório como sendo o principal pilar para se garantir a estabilidade financeira. Entre outras razões, indicam que o requerimento de capital com base apenas no risco dos ativos dos bancos falha em capturar sua importância sistêmica. Propõem a adoção de requerimentos de liquidez que restrinjam a composição dos ativos como forma de se alcançar equilíbrios mais estáveis, bem como a adoção de limites de alavancagem para diminuir a importância sistêmica dos ativos dos bancos. Adicionalmente, sugerem a possibilidade de se requerer capital também com base no risco sistêmico que a falha da instituição imporá sobre sistema financeiro.

Allen and Saunders (2004) apresentam uma revisão da literatura sobre o tema, discutindo, em particular, como a regulação prudencial pode incorporar elementos anticíclicos que, em conjunto com medidas de política monetária, sejam capazes de evitar uma amplificação temerária dos ciclos econômicos. Nesse sentido, a regulação prudencial busca observar como incentivos e comportamentos individuais podem produzir efeitos de dimensão sistêmica, numa perspectiva de foco macroprudencial.

Nesse contexto, Adrian and Brunnermeier (2008) propõem uma nova medida de risco sistêmico: CoVar, o valor em risco (Var) do sistema financeiro condicional ao estresse da situação financeira de uma instituição. Define-se, então, a contribuição marginal da instituição para o risco sistêmico como sendo a diferença entre o CoVar e o Var do sistema financeiro. Eles defendem a adoção de regulação macroprudencial baseada nesta medida, que também teria características anticíclicas conforme a metodologia utilizada.

3 Objetivos

Esta monografia teve como objetivo principal apresentar um modelo dinâmico computacional de rede de bancos para a avaliação de medidas regulatórias. Os bancos, dotados de capacidade de aprendizado, são capazes de se adaptar às condições dos mercados de que participam (de depósitos, interbancário, e de empréstimos para economia real) e às instituições estabelecidas (regulação bancária, estrutura do mercado interbancário), escolhendo níveis de liquidez e de capital que otimizam seus lucros. O modelo permite heterogeneidade entre os bancos e também acomoda diversas possibilidades de parametrização para emular as medidas regulatórias que se desejam estudar.

Como objetivo específico, procurou-se estudar o impacto de mudanças na configuração do modelo, principalmente aquelas relacionadas a medidas regulatórias e à estrutura de mercado, sobre as principais variáveis de interesse do sistema bancário criado. As variáveis monitoradas incluem o volume de empréstimos para a economia real, os níveis de capitalização e de liquidez dos bancos, e o grau de conectividade da rede por meio do mercado interbancário.

Por fim, a última etapa do trabalho teve como objetivo avaliar a resiliência das diferentes configurações do modelo dinâmico de bancos a choques de estresse macroeconômicos e a falências individuais de bancos pertencentes à rede. As variáveis de interesse, neste caso, incluem o número total de falências de bancos e a existência ou não de contágio ou risco sistêmico.

4 Metodologia

Para a realização do estudo proposto, utilizou-se a ferramenta de modelagem baseada em agentes para criar uma rede de bancos (agentes) que interagem entre si por meio do mercado interbancário de empréstimos. Cada banco pode ter características distintas dos outros, de forma a simular a heterogeneidade existente em uma rede de bancos real. São definidos diversos processos que compõem a dinâmica da simulação, como o funcionamento do mercado interbancário, a escolha da estratégia e subsequente formação do balancete do banco, o método de aprendizado, entre outros.

O modelo é parametrizável, com alguns parâmetros correspondendo às medidas regulatórias que se deseja estudar, como exigência de capital e nível mínimo de liquidez. Outros parâmetros permitem simular choques aleatórios aos quais os bancos estarão sujeitos, como choques de liquidez ou perdas em empréstimos. Também é possível configurar a estrutura de funcionamento do mercado interbancário.

Por meio da simulação computacional, procurou-se avaliar o impacto da alteração de marcos regulatórios ou até mesmo da organização do mercado interbancário sobre o equilíbrio ou estado estacionário do modelo, aqui entendido como o estado no qual os bancos já definiram sua estratégia ótima de escolha de nível de capital e de liquidez, dadas as condições impostas.

O detalhamento da metodologia começa com a discussão dos parâmetros que caracterizam

os bancos e que permitem diferenciá-los uns dos outros. Em seguida, são detalhados os itens que compõem o ativo e o passivo dos balancetes dos bancos, ressaltando que a leitura das principais variáveis do modelo se dará por meio desses balancetes. Discute-se, então, a estratégia dos bancos, representada pela escolha de seus níveis de liquidez e de capitalização, e a forma como os bancos aprenderão a priorizar as estratégias consideradas ótimas ao longo da simulação computacional. A descrição do modelo se encerra com o detalhamento das estruturas de mercado interbancário utilizadas e da sequência de eventos que compõem o ciclo de simulação.

Finalmente, o último sub-item descreve com detalhes os procedimentos adotados para simulação e para coleta de dados.

4.1 Características dos bancos

Cada banco (j) é caracterizado por:

- Capital máximo (c_m^j): valor do capital (C^j) de cada banco no início da simulação. Também corresponde ao valor máximo de capital que o banco pode ter. A opção por limitar o valor de C^j se deve ao fato de que se deseja determinar o equilíbrio com base na configuração inicial de capital dos bancos, o que não seria possível caso esse valor crescesse indefinidamente;
- Média (d^j) e desvio padrão (σ_d^j) dos depósitos: parâmetros de uma distribuição log-normal (média e desvio padrão, respectivamente). O valor agregado de depósitos de correntistas do banco (D^j) será sorteado de acordo com essa distribuição de probabilidade. O sorteio permite simular choques normais de liquidez aos quais cada banco estará sujeito;
- Número de tomadores de empréstimo do banco j (n^j): número de clientes do banco que tomam empréstimos para investimento na economia real. Representa o grau de concentração dos empréstimos feitos pelo banco;
- Risco do empréstimo para a economia real (p^j): probabilidade de que um cliente do banco não pague o empréstimo recebido. Esse parâmetro é idêntico para todos os clientes do mesmo banco e, juntamente com o número total de clientes (n^j), são os parâmetros da distribuição binomial que determinará o ganho do banco com empréstimos para a economia real a cada ciclo de simulação.

Dessa forma, os bancos são heterogêneos, diferenciando-se pelo valor do capital inicial, média e desvio padrão dos depósitos de correntistas e concentração e risco dos empréstimos para a economia real.

4.2 Composição do ativo

No ativo do banco temos:

- Ativo líquido (L^j): valor do ativo disponível para uso imediato do banco (líquido), correspondente à reserva bancária, com retorno nulo ;
- Conta garantias Câmara (G^j): valor do ativo líquido separado para compor o fundo de garantias da câmara de pagamento (apenas para a configuração do mercado interbancário com câmara);
- Depósito voluntário no Banco Central (se o banco for credor) (B^j): valor dos depósitos do banco no Banco Central. Possui maturidade de um período e retorno de $b_a\%$ por período para todos os bancos, fixado exógenamente.
- Empréstimo interbancário (se o banco for credor) (I^j): valor agregado dos empréstimos do banco para outros bancos. Possui maturidade de um período, sendo que o retorno é idêntico para todos os bancos e fixado exógenamente em $i\%$ por período;
- Empréstimo para economia real (R^j): valor agregado de empréstimos para a economia real. Possui maturidade de dois períodos, com retorno diferenciado por banco de $r^j\%$ por período.

Cabe ressaltar que definiu-se, exógenamente, o mesmo retorno esperado dos empréstimos para economia real ($r_e\%$) para todos os bancos. Assim, o valor $r^j\%$ é determinado endogenamente a partir da expressão:

$$r^j = \frac{1 + r_e}{(1 - p^j)} - 1 \quad (1)$$

A tabela abaixo mostra o resumo das principais características das classes de ativos, sendo que a coluna RW (*risk weight*) representa a ponderação pelo risco do ativo do banco para efeito do cálculo do nível de capital⁵. O objetivo desta ponderação é diminuir o peso de um ativo considerado de menor risco ao se calcular a relação entre capital e total de ativos ponderados pelo risco. Assim, por exemplo, um empréstimo interbancário de valor 100 contribuirá com apenas 20 (100 x 20%) para o cálculo do valor total de ativos ponderados pelo risco. A ponderação utilizada se aproxima das regras estabelecidas no acordo de Basiléia I.

Tabela 1: Classes de ativos

Ativo	Símbolo	Prazo	Retorno	Risco	RW
Ativo líquido	L^j	t	0%	sem risco	0% nocional
Garantias câmara	G^j	t	0%	falência bco devedor	0% nocional
Dep. Banco Central	B^j	t+1	$b_a\%$	sem risco	0% nocional
Emp. interbancário	I^j	t+1	$i\%$	falência contraparte	20% nocional
Emp. economia real	R^j	t+2	$r^j\%$	$p^j\%$	100% nocional

⁵O nível de capital ou capitalização do banco j é dado pela relação entre seu capital (C^j) e o total de ativos ponderados pelo risco. Para simplificar o modelo, optou-se por estipular peso zero para o risco dos ativos depositados em garantia na câmara.

4.3 Composição do passivo

No passivo do banco temos:

- Capital (C^j): valor do capital do banco, atualizado pelo lucro ou prejuízo no decorrer da simulação, e limitado superiormente pelo valor de c_m^j ;
- Depósito (D^j): valor agregado dos depósitos de correntistas do banco. Podem ser sacados em qualquer período, e possuem um custo de $d\%$ por período para todos os bancos;
- Empréstimo interbancário (se o banco for devedor) (I^j);
- Empréstimo do Banco Central (se o banco for devedor) (B^j): valor dos empréstimos tomados do Banco Central. Possui maturidade de um período e custo de $b_p\%$ por período para todos os bancos.

A tabela abaixo mostra um resumo das principais características dos itens do passivo dos bancos:

Tabela 2: Classes de passivos

Passivo	Símbolo	Prazo	Custo
Capital	C^j	-	0%
Depósito	D^j	t	$d\%$
Emp. interbancário	I^j	t+1	$i\%$
Emp. Banco Central	B^j	t+1	$b_p\%$

Vale ressaltar que, para simplificar o modelo, todas as taxas de juros mencionadas são determinadas exógenamente. No entanto, elas devem possuir a seguinte ordenação:

$$b_p\% (\text{BC}) > r_e\% (\text{economia real}) > i\% (\text{interbancário}) > b_a\% (\text{BC}) > d\% (\text{depósitos})$$

Como se observa, a taxa do BC como prestador de última instância ($b_p\%$) é sempre punitiva, assim como a taxa utilizada pelo BC para retirar a liquidez em excesso dos bancos ($b_a\%$) por meio de depósitos voluntários, que é inferior à dos demais ativos da economia (economia real e interbancário). Assim, procura-se incentivar os bancos a recorrerem ao BC apenas como segunda opção.

De forma usual, o lucro do banco provém da captação de depósitos de correntistas a taxas mais baixas, emprestando esses recursos a taxas mais altas ou para a economia real (maior retorno) ou para outros bancos. Também é possível obter lucro captando recursos de outros bancos e emprestando para a economia real.

4.4 Estratégia

Pode-se entender cada ciclo da simulação computacional como um jogo simultâneo entre os bancos. Nesse sentido, a estratégia do banco j consiste na escolha, no início do ciclo, de uma ação representada pelo par de parâmetros (α^j, β^j) , onde:

- α^j indica a relação percentual entre capital e valor dos ativos ponderados pelo seu risco (capitalização);
- β^j indica a relação percentual entre ativo líquido e depósito (liquidez).

Cabe ressaltar que há um número finito de valores de α^j e β^j que podem ser escolhidos, de forma que o número total de possíveis estratégias (α^j, β^j) também é finito.

Uma vez escolhida a estratégia a ser adotada, o balancete do banco é construído da seguinte forma:

1. C^j é definido igual a c_m^j no ciclo inicial, sendo atualizado a cada período de acordo com o lucro ou o prejuízo do banco em suas operações, lembrando que c_m^j também é o limite superior;
2. D^j é definido igual à média d^j no ciclo inicial, sendo alterado no decorrer da simulação com o sorteio de novos valores extraídos da função de distribuição de probabilidade de depósitos de correntistas definida anteriormente ;
3. $L^j = \beta^j \cdot D^j$. O total de ativos líquidos do banco é simplesmente o resultado da multiplicação do total de depósitos pelo parâmetro representativo do nível de liquidez desejada, da acordo com a estratégia escolhida;
4. R^j é escolhido tal que:

$$\frac{C^j}{20\% \cdot \max(0; I_p^j) + 100\% \cdot R^j} = \alpha^j,$$

onde o numerador é o capital do banco e o denominador representa o valor dos ativos ponderados pelo risco. Essa relação indica o nível de capital do banco, e é igualada ao parâmetro representativo da capitalização desejada, de acordo com a estratégia escolhida. I_p^j representa o valor previsto de empréstimo interbancário de forma a completar o balancete, e é dado por:

$$I_p^j = -(D^j + C^j + L^j + R^j),$$

convencionando-se que valores positivos indicam que o banco pretende emprestar no mercado interbancário (ativo do balancete) e valores negativos indicam que o banco pretende tomar emprestado (passivo do balancete). Vale lembrar que, como I_p^j é um valor previsto, ele não necessariamente se converterá integralmente no valor I^j (empréstimo interbancário) na formação do balancete, pois depende de quanto o banco efetivamente conseguirá emprestar (ou tomar emprestado) no mercado interbancário.

4.5 Mercado interbancário

Podem-se testar várias organizações do mercado interbancário. Para este trabalho, testaram-se três organizações:

1. Sem mercado interbancário;
2. Mercado interbancário priorizando negócios entre bancos mais seguros;
3. Mercado interbancário com câmara de pagamentos;

Sem mercado interbancário

Neste caso, não há negócios entre os bancos, e todo o valor I_p^j é convertido em: ou depósito voluntário no BC (B^j no ativo do banco), caso I_p^j seja maior que zero, ou empréstimo do BC (B^j no passivo do banco), caso I_p^j seja menor que zero. No primeiro caso, o BC atua “enxugando” a liquidez excessiva do banco e, no último caso, o BC supre a necessidade de liquidez do banco como prestador de última instância.

Mercado interbancário priorizando negócios entre bancos mais seguros

Aqui, são priorizados os negócios entre bancos mais seguros, sendo o risco de cada banco medido pelos parâmetros α^j e β^j . Essa regra procura premiar os bancos mais capitalizados e com mais liquidez, dando a eles acesso prioritário ao mercado interbancário. Dessa forma, teremos a seguinte sequência de ações para a definição da negociação no mercado interbancário:

1. Ordenam-se os bancos credores e devedores (com base no valor de I_p^j) em filas separadas, do maior para o menor valor de α^j ;
2. Em caso de empate, ordena-se do maior para o menor valor de β^j ;
3. Realizam-se os negócios entre os primeiro da fila;
4. Caso algum banco não consiga emprestar ou tomar emprestado, o valor total do empréstimo interbancário desejado, a diferença entre o valor desejado e o valor conseguido ($I_p^j - I^j$) será convertida em: depósito voluntário no BC (B^j no ativo do banco), caso $I_p^j - I^j$ seja maior que zero, ou empréstimo do BC (B^j no passivo do banco), caso $I_p^j - I^j$ seja menor que zero.

Mercado interbancário com câmara de pagamentos

Uma câmara de pagamentos, segundo definição do *Bank of International Settlements* (BIS) (Committee on Payment Settlement Systems, 2003), é um conjunto de instrumentos, procedi-

mentos e regras para a transferência de fundos entre participantes do sistema⁶. No contexto deste trabalho, a inclusão de uma câmara de pagamentos modifica o funcionamento do mercado interbancário de duas formas principais. Em primeiro lugar, os participantes com I_p^j menor que zero, ou seja, que desejam tomar emprestado no mercado interbancário, deverão “depositar” garantias na câmara. Isto se deve pois a câmara deverá suportar até a quebra do participante com maior saldo devedor, utilizando as garantias recolhidas para cobrir o saldo não pago⁷. Em segundo lugar, a ordem da negociação não mais seguirá o critério de risco dos bancos, sendo em vez disso aleatória. Tal fato reflete a presença da câmara com garantias, a qual transmite mais segurança nas negociações entre os bancos e os desonera da avaliação de risco de suas contrapartes.

A sequência de ações para a definição da negociação no mercado interbancário com a presença da câmara será a seguinte:

1. Os bancos informam à câmara os valores de I_p^j ;
2. A câmara solicita garantias dos participantes com $I_p^j < 0$. O valor total das garantias irá compor um fundo cujo valor será igual ao módulo do menor valor de I_p^j , de forma a garantir a quebra do participante com maior saldo devedor. O rateio da composição do fundo entre os participantes (com $I_p^j < 0$) será o seguinte, onde n representa o número total de participantes com $I_p^j < 0$:

$$G^j = \frac{I_p^j}{\sum_{i=1}^n I_p^i} \cdot \min(I_p^i) \quad (2)$$

3. O valor das garantias é debitado da conta L^j e creditado na conta G^j do participante. Caso o valor em L^j seja menor que G^j , o banco solicita um empréstimo ao BC no valor de $G^j - L^j$, de forma a completar a diferença. As garantias permanecem bloqueadas nesta conta até o vencimento do empréstimo interbancário no período seguinte, sendo utilizada neste intervalo apenas no caso da quebra de algum participante da câmara de pagamentos;
4. O fundo de garantias é mutualizado, ou seja, o recurso total do fundo pode ser utilizado para cobrir a inadimplência de qualquer participante do sistema. No entanto, o uso do fundo segue a seguinte lógica: utiliza-se, inicialmente, toda a contribuição ao fundo do participante que inadimpliu. Caso não seja suficiente, o valor residual é rateado entre as contribuições dos demais participantes conforme a participação percentual de cada um no fundo.

⁶O conceito está relacionado ao sistema de pagamentos, sendo que o termo câmara remete à apuração de saldos multilaterais ou únicos do participante com a câmara, que recolhe recursos dos devedores e paga aos credores. Também pode assumir o papel de contraparte central, garantindo a liquidação das operações mesmo no caso de inadimplência de algum participante (Banco Central do Brasil).

⁷O BIS recomenda que um sistema de pagamento sistemicamente importante seja capaz de garantir pelo menos o pagamento do participante com maior saldo devedor (Committee on Payment Settlement Systems, 2001)

4.6 Método de aprendizado

No início da simulação, cada possível ação (α^j, β^j) do banco j terá a mesma probabilidade de ser escolhida, tendo em vista a falta de informação para o agente diferenciar uma estratégia de outra.

A partir daí, levando em conta o lucro ou o prejuízo do banco no ciclo de simulação resultante da adoção da estratégia sorteada, pretende-se atualizar a probabilidade de essa estratégia ser novamente escolhida por meio de um modelo de aprendizado EWA (*experience weighted attraction*) introduzido por Camerer and Ho (1999). Esse modelo captura o duplo aspecto do aprendizado adaptativo, ou seja, a lei do efeito atual e a lei dos efeitos simulados. A lei do efeito atual diz que ações escolhidas que tiveram sucesso serão escolhidas novamente com mais frequência do que aquelas que não tiveram. A lei dos efeitos simulados diz que ações não escolhidas mas que teriam tido sucesso também serão escolhidas com mais frequência posteriormente.

Pouget (2007) explica que a lógica por trás do modelo de aprendizado EWA é a de que os agentes fazem suas escolhas de acordo com funções de atração. Para cada possível ação ou estratégia w de um determinado agente j , é associada uma função de atração (A_w^j) , que corresponde simplesmente ao lucro acumulado ao longo dos ciclos com o uso daquela estratégia. O lucro calculado a cada ciclo para a estratégia em questão pode ser o atual, caso ela tenha sido a escolhida, ou o simulado, caso outra estratégia tenha sido escolhida em seu lugar.

A função de atração de uma ação w é transformada em uma medida de probabilidade por meio de um modelo logit:

$$P_w^j(t+1) = \frac{e^{\lambda \cdot A_w^j(t)}}{\sum_{i=1}^W e^{\lambda \cdot A_i^j(t)}} \quad (3)$$

O parâmetro W indica o número total possível de ações e λ indica a sensibilidade dos agentes para as funções de atração. Essas probabilidades são, então, acumuladas de acordo com a ordenação das ações para construir um função acumulada de distribuição $F^j(\cdot)$. Para determinar qual a ação será escolhida pelo agente, sorteia-se o valor de uma variável aleatória u , uniformemente distribuída entre zero e um, que é, então, comparada com esta função acumulada. Assim, por exemplo, a ação w será escolhida se $F^j(w-1) < u < F^j(w)$.

4.7 Sequência de eventos

A construção da sequência de eventos da simulação seguiu as seguintes diretrizes:

1. Deve ser possível simular a diferença de liquidez entre pelo menos três tipos de ativos: reserva bancária, empréstimo interbancário e empréstimo para economia real;
2. Deve ser possível aos bancos buscar financiamento de curto prazo para investimentos de longo prazo;

3. Os bancos devem planejar sua necessidade de liquidez tendo em conta os choques de liquidez a que estão expostos;
4. Deve ser possível calcular o lucro do banco associado a cada estratégia de forma individualizada, para permitir a atualização da sua função de atração.

Cada ciclo de simulação é composto por três períodos. Após o encerramento dos três períodos de um ciclo, um novo ciclo se inicia e assim por diante. A sequência de eventos dentro de cada período é detalhada a seguir:

Período 1: escolha da estratégia (α^j, β^j)

1. Sorteio de uma nova estratégia: o sorteio é feito com base na função acumulada de distribuição, atualizada a cada ciclo pelas funções de atração das estratégias possíveis;
2. Abertura do mercado interbancário e de empréstimo para economia real: com base na organização do mercado interbancário escolhida, é construída uma matriz detalhando os empréstimos entre os bancos e entre os bancos e o BC. Por ter demanda perfeitamente inelástica, a oferta de empréstimos para economia real é totalmente atendida;
3. Atualização do balancete do banco: o balancete de cada banco é atualizado tendo em conta os empréstimos realizados;
4. Choque de liquidez: sorteia-se novo valor de D^j de uma distribuição log-normal. Caso o novo valor de D^j seja menor que o anterior, ou seja, ocorreram saques dos correntistas, estes saques deverão ser atendidos pelo valor de ativos líquidos disponíveis (L^j);
5. Assistência de liquidez do BC: caso L^j não seja suficiente para atender o valor total de saques dos correntistas, o banco recorrerá a um empréstimo do BC para cobrir a diferença faltante.

Período 2: manutenção da estratégia (α^j, β^j)

1. Atualização do balancete do banco: os valores dos empréstimos entre o banco e o BC, interbancários, e para a economia real, assim como dos depósitos dos correntistas são atualizados para seu valor nominal de acordo com a taxa de juros cobrada de cada um. Caso o capital do banco se torne negativo, ele é considerado inadimplente e não participa da simulação até o encerramento do ciclo;
2. Contágio no caso de inadimplência de banco devedor no mercado interbancário: neste caso, toda a perda do banco inadimplente, correspondente ao mínimo entre o módulo do seu capital e o módulo do seu saldo devedor, é repartida entre seus bancos credores no

mercado interbancário, proporcionalmente ao tamanho do empréstimo de cada um com o banco inadimplente. No caso do mercado interbancário com câmara, as garantias do fundo são utilizadas para cobrir a inadimplência do banco. Repete-se, então, os eventos 1 e 2 até que não haja mais contágio⁸;

3. Vencimento dos empréstimos interbancários e com o BC feitos no período 1: as contas I^j (empréstimo interbancário) e B^j (empréstimo com o BC) são zeradas, sendo atualizada a conta L^j (ativo líquido);
4. Manutenção da estratégia definida no período 1: o banco tentará manter os parâmetros de capitalização (α^j) e de liquidez (β^j) escolhidos no período 1. Não são realizados novos empréstimos para a economia real para que a estratégia adotada em um ciclo não impacte o lucro do ciclo seguinte. Desta forma, ao se calcular o lucro em um ciclo, ele estará associado apenas à estratégia escolhida naquele ciclo, possibilitando a atualização de sua função de atração. Ressalta-se também que, mesmo sem a realização de novos empréstimos, o nível de capitalização se alterará apenas marginalmente conforme o lucro ou o prejuízo do banco entre o período 1 e 2;
5. Abertura do mercado interbancário: neste período, o acesso ao mercado interbancário permitirá que o banco recalibre o seu nível de liquidez de acordo com o parâmetro β^j escolhido no período 1;
6. Atualização do balancete do banco;
7. Choque de liquidez (sorteia-se novo valor de D^j de uma distribuição log-normal);
8. Assistência de liquidez do BC.

Período 3: vencimento do empréstimo economia real

1. Atualização do balancete do banco: os valores dos empréstimos com o BC e interbancários, assim como dos depósitos de correntistas são atualizados para seu valor nominal de acordo com a taxa de juros cobrada de cada um. Ao contrário do período anterior, o empréstimo para a economia real será atualizado conforme o número de devedores inadimplentes, sorteados da distribuição binomial com parâmetros n^j e p^j . Para os devedores inadimplentes, a perda é total, e para os devedores adimplentes, o banco receberá o valor

⁸Eisenberg and Noe (2001) provam a existência de um “vetor de pagamentos para compensação” único que otimiza o fluxo de pagamentos entre as firmas participantes de um sistema de compensação de pagamentos, incluindo a possibilidade de que um ou mais participantes não consigam pagar o total devido, e também propõem um algoritmo para encontrar tal vetor. O presente trabalho utilizou um algoritmo mais simplificado, tendo em vista que o sistema analisado por Eisenberg e Noe prevê a possibilidade de que uma firma tenha simultaneamente saldos devedores e credores com diferentes bancos, ao contrário do caso em estudo, em que um banco somente é ou credor ou devedor de todos os bancos com os quais se relaciona.

do empréstimo mais os juros. Caso o capital do banco fique negativo, ele é considerado inadimplente e não participa da simulação até o encerramento do ciclo;

2. Contágio no caso de inadimplência de banco devedor no mercado interbancário: repete-se, aqui, o mesmo procedimento de avaliação de contágio do período 2;
3. Vencimento dos empréstimos interbancários e com o BC feitos no período 2 e dos empréstimos para a economia real feitos no período 1: as contas I^j (empréstimo interbancário), B^j (empréstimo com o BC) e R^j (empréstimo economia real) são zeradas, sendo atualizada a conta L^j (ativo líquido);
4. Cálculo do lucro atual e dos lucros simulados do banco: o lucro do banco no ciclo é calculado a partir da diferença entre o seu capital no final do período 3 e no início do período 1, sendo utilizado para atualizar a função de atração associada à estratégia escolhida. De forma a incorporar a lei dos efeitos simulados, também são calculados os lucros simulados do banco para as outras possíveis estratégias, mantendo as ações dos demais bancos, os choques de liquidez e a perda nos empréstimos para a economia real constantes. Desta forma, as funções de atração de todas as estratégias são atualizadas a cada ciclo, gerando uma nova matriz de probabilidades de escolha.

4.8 Metodologia de simulação

A simulação foi feita em duas etapas. Na primeira etapa, realizaram-se mil ciclos de simulação para cada uma das diferentes configurações escolhidas do modelo dinâmico de bancos. Partindo de uma configuração padrão, as outras configurações diferenciavam-se em termos de: nível de capital e de liquidez mínimos, probabilidade de inadimplência dos tomadores de empréstimos para a economia real, variância dos depósitos dos correntistas e organização do mercado interbancário.

No início da simulação, as probabilidades associadas a cada uma das estratégias possíveis de serem escolhidas por um banco eram idênticas, sendo atualizadas de acordo com suas funções de atração. A intenção era a de que, após mil ciclos, as probabilidades de escolha tivessem convergido para as ações consideradas mais adequadas pelos bancos, conforme o processo de aprendizado de cada um. Em todos os ciclos, foi feita a leitura de diversas variáveis de saída de interesse, tanto agregadas quanto banco a banco.

Na segunda etapa, escolheram-se algumas configurações para a realização de testes de estresse, de forma a avaliar a resiliência da rede de bancos a choques deste tipo. Os cenários de estresse utilizados se dividiram em duas categorias: choques macroeconômicos, onde duplicou-se a probabilidade de inadimplência dos tomadores de empréstimos para a economia real de todos os bancos, e choques microeconômicos, onde escolhia-se aleatoriamente um banco que teria perda total em seus empréstimos para a economia real, geralmente levando-o à inadimplência.

Dada a configuração do modelo analisado, a simulação da segunda etapa utilizava a matriz de probabilidades de escolha de estratégias obtida após os mil ciclos de simulação da primeira etapa. A intenção foi realizar os testes de estresse em um estágio no qual os bancos já tivessem escolhido suas estratégias ótimas. A simulação consistiu, então, em repetir-se diversas vezes o “milésimo primeiro ciclo”, submetendo os bancos ao choque de estresse escolhido (macroeconômico ou microeconômico) a cada repetição, de forma a se retirar o efeito médio do choque sobre a rede de bancos. Cabe ressaltar que, a cada repetição, a matriz de probabilidade de escolha de estratégias não era atualizada, valendo-se da mesma matriz obtida ao final da primeira etapa de simulação. Assim, não se permitia que os bancos aprendessem e se adaptassem ao choque, mantendo o seu caráter atípico. As variáveis de saída monitoradas incluíam, principalmente, a existência ou não de contágio.

5 Resultados

A simulação foi feita com base em uma rede de 50 bancos heterogêneos, criados de forma aleatória a partir dos parâmetros do modelo.

5.1 Configurações

Configuração padrão

Os parâmetros do modelo foram divididos em três conjuntos distintos, a saber: características dos bancos, taxas e estratégia⁹. Para esta primeira etapa do trabalho, os valores foram escolhidos como forma de se testar o processo de aprendizado dos bancos e a resposta do modelo a situações encontradas em uma rede real, como diferenças extremas de quantidade de depósitos dos bancos (alguns com excesso, outros com falta). A configuração padrão consistia na seguinte parametrização:

Características dos bancos Os valores aqui indicados mostram os limites máximos e mínimos dos parâmetros que descrevem as características dos bancos, a partir dos quais foi gerada de forma aleatória a rede de 50 bancos:

- Capital máximo (c_m^j): 100 - 10.000
- Média dos depósitos (d^j) : 5 - 27 (vezes capital máximo)
- Desvio padrão dos depósitos (σ_d^j) : 5% (da média dos depósitos)
- Número de tomadores de empréstimo para a economia real (n^j): 100 - 1.000
- Risco do empréstimo para a economia real (p^j): 5%

⁹Todos os parâmetros do modelo são representados por letras minúsculas.

Taxas Os valores indicados mostram as taxas de juros associadas aos itens do passivo ou do ativo dos bancos (por período):

- Empréstimo do Banco Central ($b_p\%$) : 1,0%
- Empréstimo para a economia real (retorno esperado) ($r_e\%$): 0,6%
- Empréstimo interbancário ($i\%$): 0,4%
- Depósitos voluntários no Banco Central ($b_a\%$) : 0,2%
- Depósitos ($d\%$): 0,1%

Estratégia Os valores indicados mostram os limites mínimos e máximos dos parâmetros relacionados à estratégia do banco:

- Capitalização (α^j): 5,0% - 20,0% (em passos de 2,5%)
- Liquidez (β^j): 5,0% - 30,0% (em passos de 5,0%)

A partir dessa configuração padrão, foram geradas novas configurações alterando-se algum dos parâmetros mencionados para permitir o estudo, isoladamente, do efeito dessa alteração sobre o equilíbrio do modelo. As configurações geradas foram as seguintes:

Configuração 1: Capital 7,5%

Reproduz uma medida regulatória de aumento da exigência mínima de capital.

- Parâmetro alterado - Capitalização (α^j): 7,5% - 20,0% (em passos de 2,5%)

Configuração 2: Liquidez 15%

Reproduz uma medida regulatória de aumento da exigência de liquidez mínima.

- Parâmetro alterado - Liquidez (β^j): 15,0% - 30,0% (em passos de 5,0%)

Configuração 3: Risco empréstimo economia real 10%

Aumenta-se a probabilidade de inadimplência dos empréstimos para a economia real. Ressalta-se que o retorno esperado dos empréstimos para a economia real não se modifica, pretendendo-se testar se os bancos demonstram um comportamento de propensão, de neutralidade ou de aversão ao risco.

- Parâmetro alterado - Risco do empréstimo para a economia real (p^j): 10%

Configuração 4: Desvio padrão dos depósitos 10%

Aumenta-se a variância dos depósitos dos bancos, tornando mais severos os choques normais de liquidez. Pretende-se avaliar se os bancos adotam um comportamento mais conservador em relação ao seu nível de liquidez.

- Parâmetro alterado - Desvio padrão dos depósitos (σ_d^j): 10% (da média dos depósitos)

As configurações seguintes estão relacionadas à estrutura do mercado interbancário:

Configuração 5: Sem mercado interbancário

Retira-se a possibilidade de os bancos realizarem empréstimos interbancários, mantendo-se os demais parâmetros da configuração padrão, sendo que qualquer falta de liquidez será suprida pelo Banco Central a taxas punitivas. Pretende-se avaliar a importância do mercado interbancário para a economia e para a resiliência do sistema bancário.

Configuração 6: Câmara

Inclui-se uma câmara de pagamentos para intermediar as operações interbancárias, mantendo-se os demais parâmetros da configuração padrão, sendo ela capaz de garantir a liquidação das operações mesmo com a quebra do participante com maior saldo devedor.

5.2 Variáveis

As variáveis de saída do modelo utilizadas para a análise dos resultados foram as seguintes:

Inadimplências

Refere-se ao número de bancos que ficaram inadimplentes a cada ciclo de simulação.

Empréstimo BC: mercado interbancário

Valor agregado de empréstimos realizados pelo BC aos bancos (se negativo) ou de depósitos voluntários dos bancos no BC (se positivo) na etapa 2 do período 1 (abertura do mercado interbancário e de empréstimo para economia real), a cada ciclo de simulação.

Empréstimo economia real

Valor agregado de empréstimos para a economia real realizados pelos bancos na etapa 2 do período 1 (abertura do mercado interbancário e de empréstimo para economia real), a cada ciclo de simulação.

Interbancário

Valor agregado de empréstimos interbancários realizados pelos bancos na etapa 2 do período 1 (abertura do mercado interbancário e de empréstimo para economia real), a cada ciclo de simulação. Caso o banco seja emprestador, esse valor é positivo e, caso contrário, negativo. O valor agregado corresponde à soma em módulo dos valores emprestados (ou tomados emprestado) de cada banco.

Capitalização

Nível de capitalização (α^j) escolhido pelo banco na etapa 1 do período 1 (sorteio de uma nova estratégia), a cada ciclo de simulação. No caso do valor agregado, retira-se a média dos percentuais escolhidos pelos bancos.

Liquidez

Nível de liquidez (β^j) escolhido pelo banco na etapa 1 do período 1 (sorteio de uma nova estratégia), a cada ciclo de simulação. No caso do valor agregado, retira-se a média dos percentuais escolhidos pelos bancos.

Lucro

Valor agregado do lucro dos bancos ao final de cada ciclo de simulação (etapa 4 do período 3).

5.3 Simulação

Na primeira etapa de testes, para cada configuração mencionada, foi realizada uma sequência de mil ciclos consecutivos de simulação, permitindo aos bancos “aprender” com suas escolhas passadas e, desta forma, chegar à escolha da estratégia ótima.

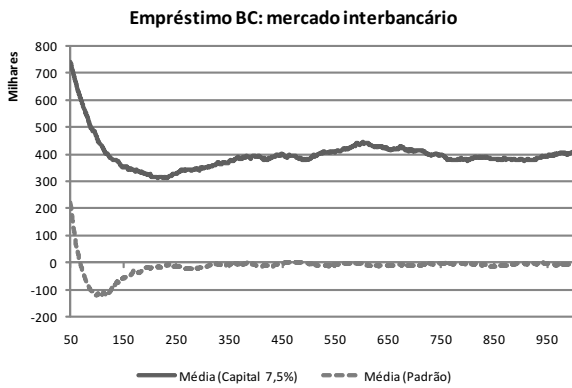
A apresentação dos resultados é feita da seguinte forma: para cada uma das configurações de 1 a 6, são apresentados seis gráficos com a evolução ciclo a ciclo das seguintes variáveis: i) empréstimo BC: mercado interbancário, ii) empréstimo economia real, iii) interbancário, iv) capitalização, v) liquidez, vi) lucro. Cada gráfico conterá duas linhas de tendências, sendo uma referente à média do valor da variável nos últimos 50 ciclos na configuração em estudo, e outra referente à média nos últimos 50 ciclos da mesma variável na configuração padrão, para efeito de comparação.

5.3.1 Configuração 1: Capital 7,5%

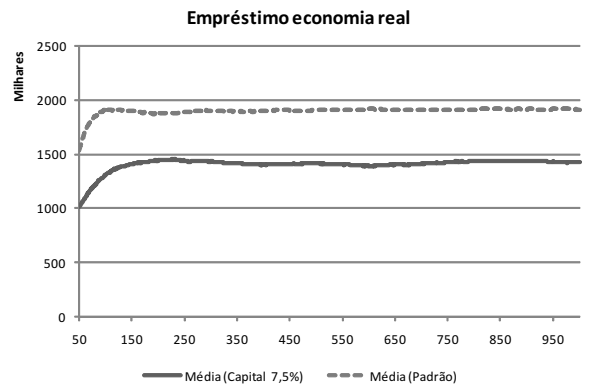
A figura 1 mostra os resultados da simulação para esta configuração. Observa-se, na subfigura a, a atuação do Banco Central no sentido de “enxugar” o excesso de liquidez que os

bancos passam a ter em virtude do aumento da exigência de capital. Ao contrário da configuração padrão, na qual os bancos otimizam a alocação dos seus recursos e, portanto, não emprestam nem tomam emprestado do Banco Central, neste caso o empréstimo ao BC torna-se a melhor alternativa dada a impossibilidade de os bancos aumentarem o volume de empréstimos para a economia real.

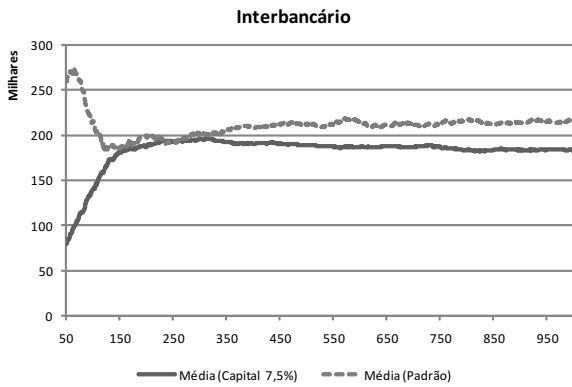
Figura 1: Capital 7,5%



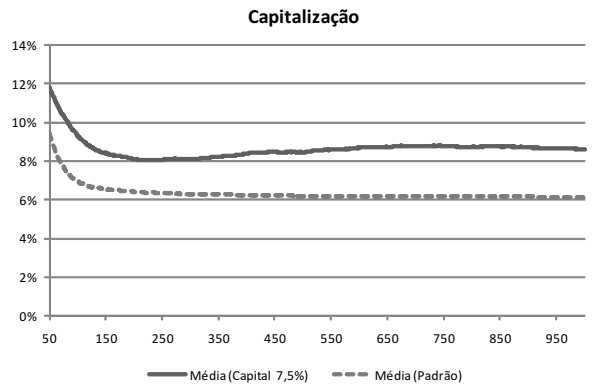
(a) Empréstimo BC: mercado interbancário



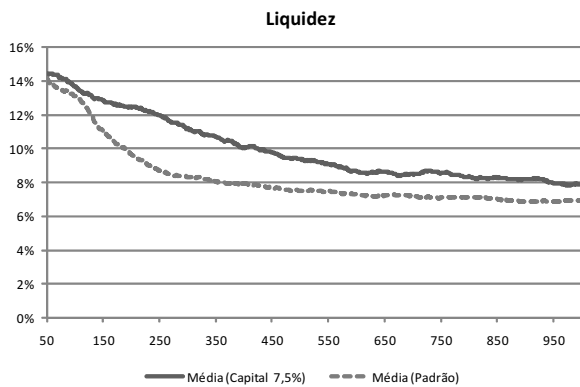
(b) Empréstimo Economia Real



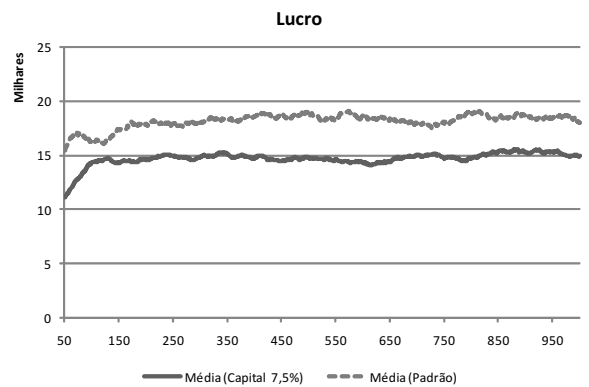
(c) Interbancário



(d) Capitalização



(e) Liquidez



(f) Lucro

A sub-figura b mostra claramente o impacto significativo do aumento da exigência de capital sobre o volume agregado de empréstimos para a economia real, reduzindo-o em mais de 20%, o que também impactou negativamente o lucro agregado dos bancos (sub-figura f). Houve também redução dos empréstimos interbancários (sub-figura c), em virtude da menor demanda dos bancos por esse tipo de empréstimo, e aumento no nível médio de liquidez. Esse aumento reflete a preferência dos bancos em reter mais liquidez para enfrentar os choques de saques dos depositantes, tendo em vista o baixo retorno obtido com os empréstimos ao Banco Central. O nível de capitalização médio ficou um pouco acima do nível mínimo de 7,5%, possivelmente em virtude do intervalo discreto na escolha do nível de capital entre 7,5% e 10,0%.

5.3.2 Configuração 2: Liquidez 15%

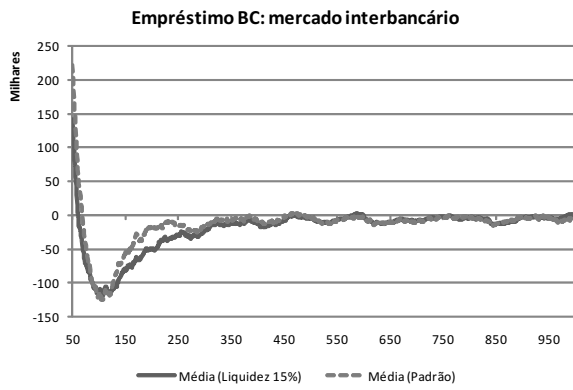
A figura 2 mostra os resultados da simulação para esta configuração.

Assim como na configuração padrão, aqui também os bancos se ajustam para não necessitar emprestar ou tomar emprestado do BC no mercado interbancário (sub-figura a). O impacto negativo do aumento da exigência de liquidez sobre os empréstimo para a economia real foi de 9% (sub-figura b), reduzindo também o lucro dos bancos vis-à-vis a configuração padrão (sub-figura e). A necessidade de os bancos manterem mais ativos líquidos reduziu a oferta de liquidez no mercado interbancário, impactando em mais de 50% seu volume médio (sub-figura c). Também é interessante notar que o aumento da exigência de liquidez provocou o aumento do nível de capitalização dos bancos (sub-figura d). Tal fato decorre naturalmente da diminuição de recursos destinados a empréstimos para a economia real e para o mercado interbancário.

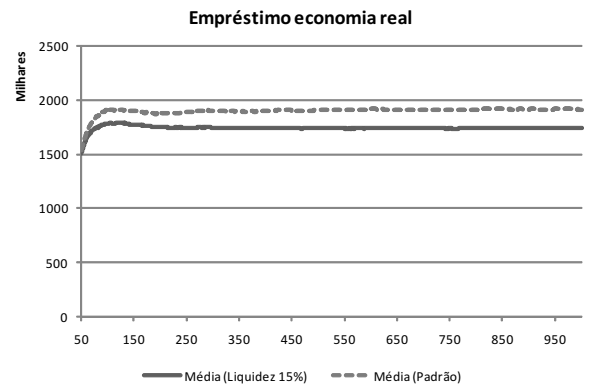
5.3.3 Configuração 3: Risco empréstimo economia real 10%

A figura 3 mostra os resultados da simulação para esta configuração. Como pode ser observado, não houve mudanças significativas das variáveis agregadas com o aumento no risco dos empréstimo para economia real. Vale ressaltar que o retorno esperado desses empréstimos permaneceu igual ao da configuração padrão. No entanto, percebe-se uma pequena diferença no nível de capitalização dos bancos (sub-figura c), que se reduziu com o aumento do risco dos empréstimos para a economia real. Em contrapartida, também se observou pequeno aumento no nível de liquidez médio dos bancos.

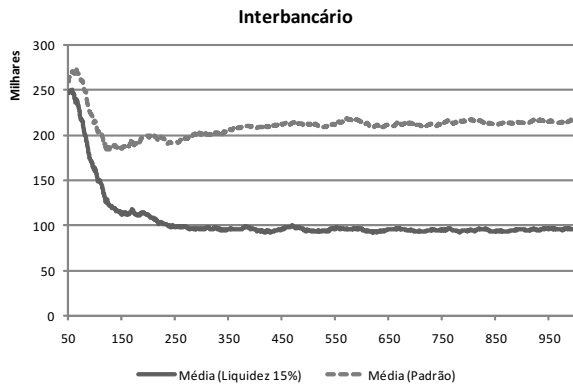
Figura 2: Liquidez 15%



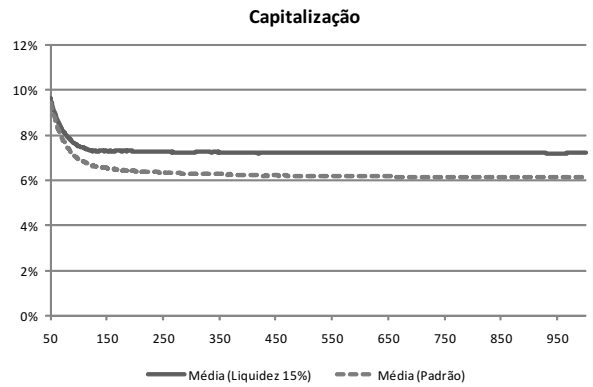
(a) Empréstimo BC: mercado interbancário



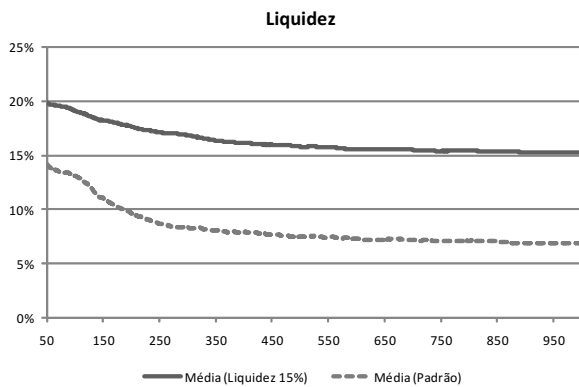
(b) Empréstimo Economia Real



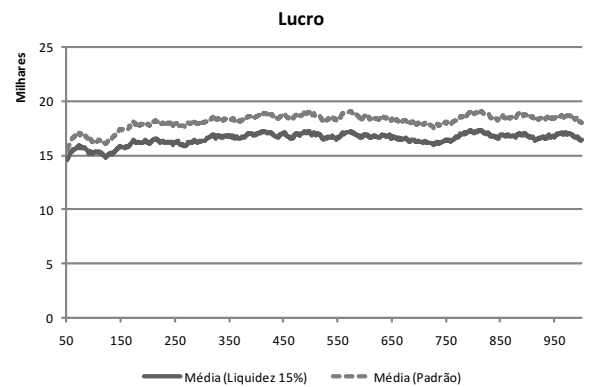
(c) Interbancário



(d) Capitalização

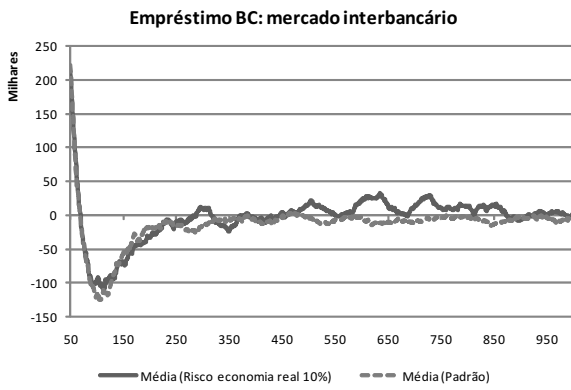


(e) Liquidez

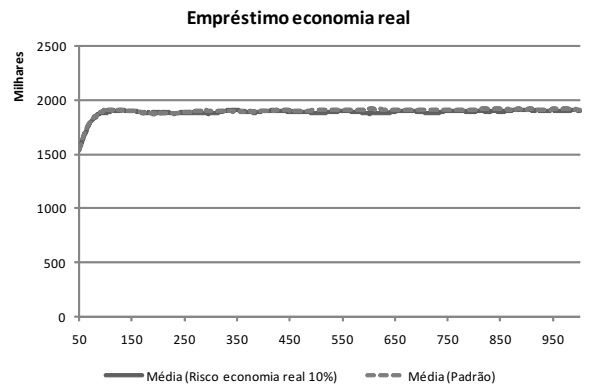


(f) Lucro

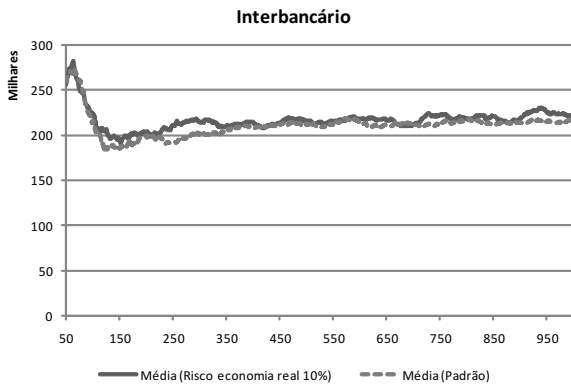
Figura 3: Risco empréstimo economia real 10%



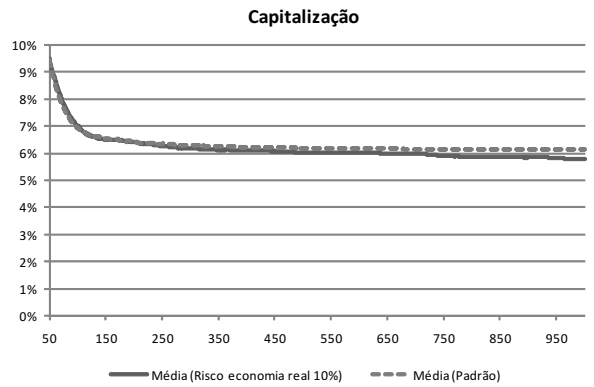
(a) Empréstimo BC: mercado interbancário



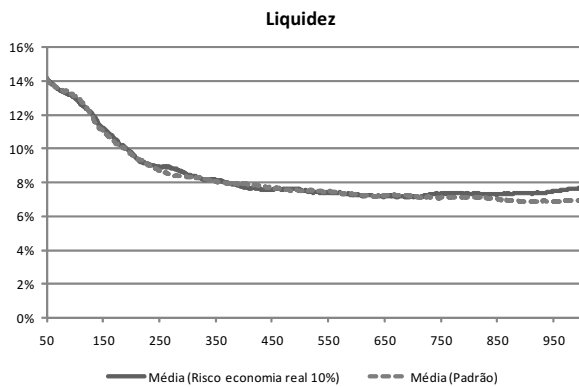
(b) Empréstimo Economia Real



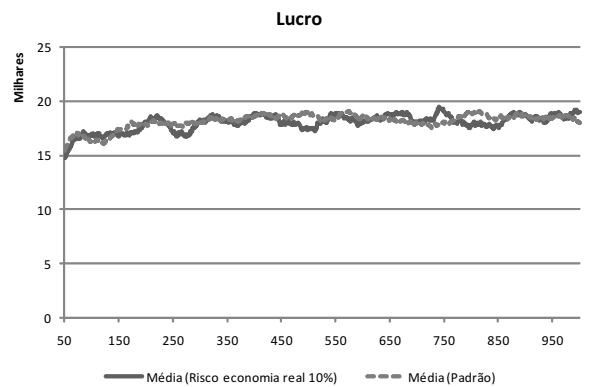
(c) Interbancário



(d) Capitalização



(e) Liquidez



(f) Lucro

5.3.4 Configuração 4: Desvio padrão dos depósitos 10%

A figura 4 mostra os resultados da simulação para esta configuração. Como pode ser observado, os bancos reajustaram seus níveis de liquidez diante da maior volatilidade dos depósitos dos correntistas (sub-figura e). Houve pequena redução no nível de capitalização dos bancos (sub-figura d), o que, no entanto, não impactou de forma significativa os empréstimos para a economia real (sub-figura b). É interessante notar que o volume de empréstimos no mercado interbancário permaneceu praticamente idêntico (sub-figura c), apesar do aumento no nível de liquidez dos bancos. Presume-se que os bancos credores no mercado interbancário procuraram manter a oferta de recursos neste mercado como forma de se proteger dos choques de liquidez no período 2.

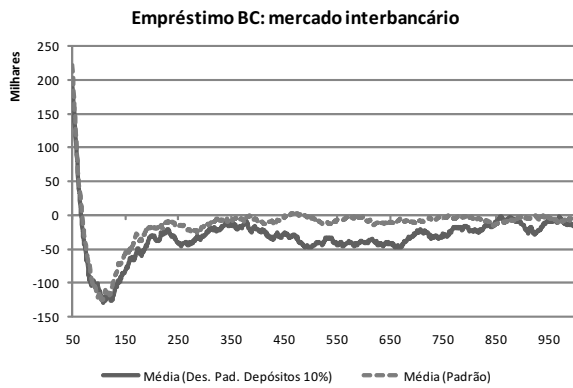
5.3.5 Configuração 5: Sem mercado interbancário

A figura 5 mostra os resultados da simulação para esta configuração.

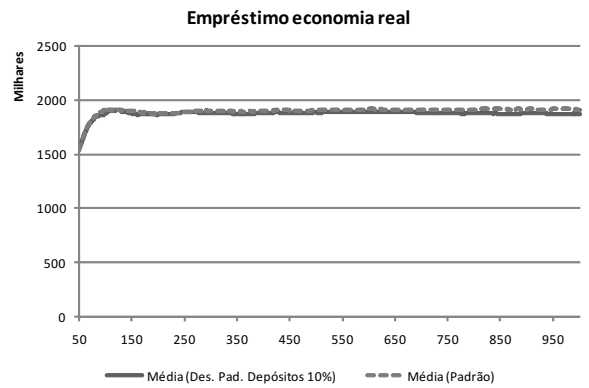
Esta simulação teve como objetivo comparar o efeito da exclusão do mercado interbancário na alocação de recursos pelos bancos. Primeiramente, observa-se na sub-figura a que o BC atua retirando o excesso de liquidez de alguns bancos, já que esses não conseguem alocar seus recursos em ativos de maior retorno (mercado interbancário ou de empréstimos para economia real). O volume de empréstimos para a economia real se reduz em cerca de 12% (sub-figura b), reduzindo também os lucros dos bancos (sub-figura e).

O nível de capitalização médio dos bancos se eleva, devido à impossibilidade de alguns bancos com menor volume de depósitos obterem financiamento adicional no mercado interbancário (sub-figura c). Já o nível de liquidez médio diminui pois os bancos com excesso de liquidez emprestam seus recursos ao BC, na impossibilidade de emprestá-los a outros bancos (sub-figura d). Como esses recursos são líquidos já no período 1, não há distinção entre ativos líquidos e empréstimos ao BC, de forma que os bancos optam por minimizar o nível de liquidez para obterem maior retorno.

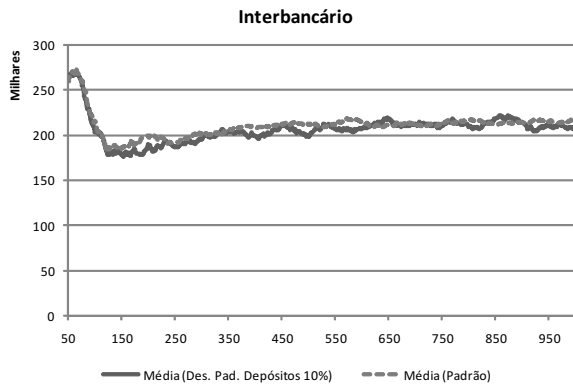
Figura 4: Desvio padrão dos depósitos 10%



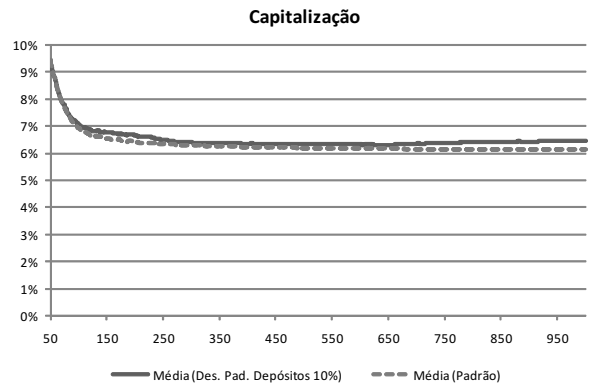
(a) Empréstimo BC: mercado interbancário



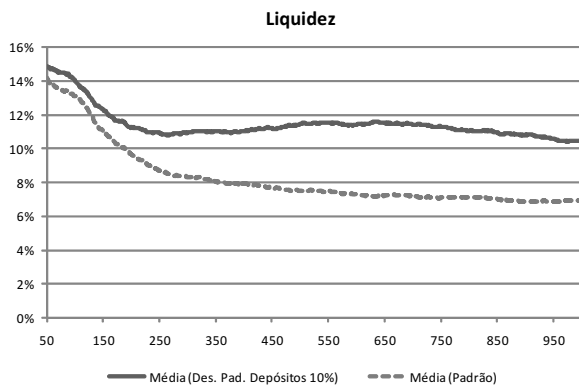
(b) Empréstimo Economia Real



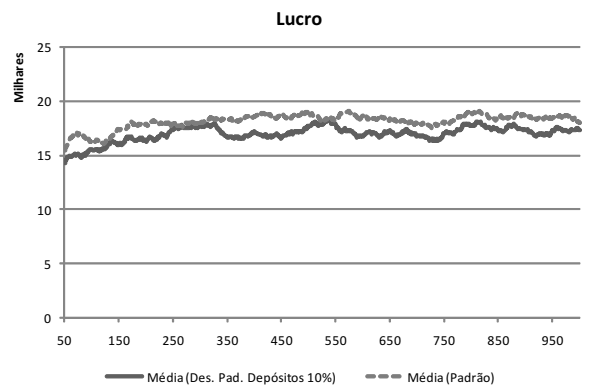
(c) Interbancário



(d) Capitalização

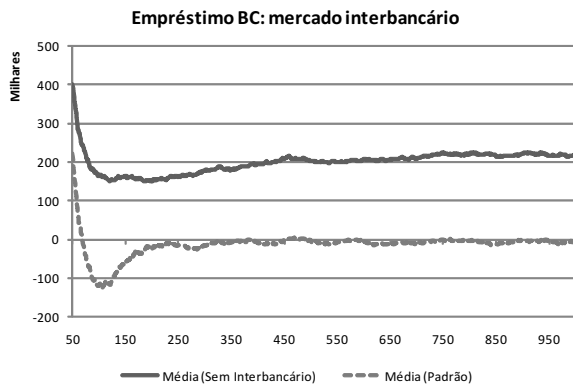


(e) Liquidez

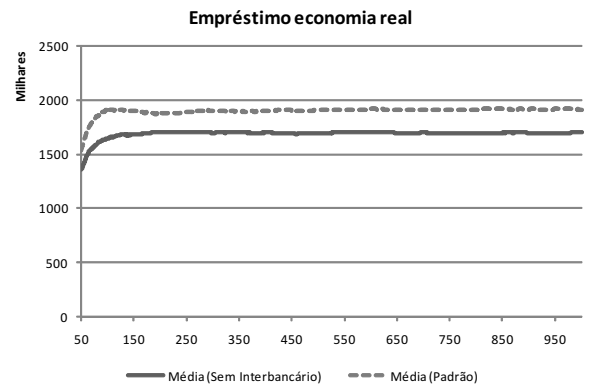


(f) Lucro

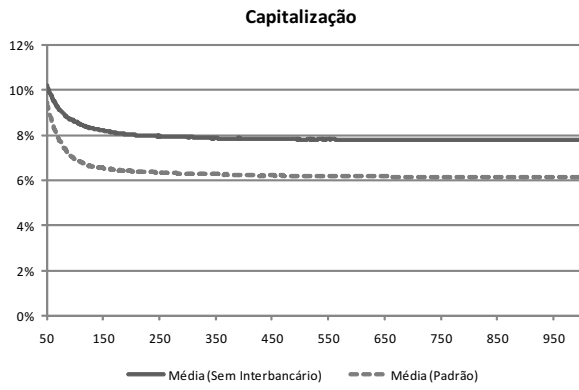
Figura 5: Sem mercado interbancário



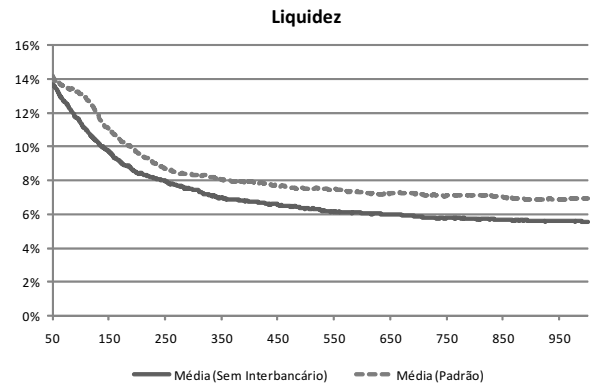
(a) Empréstimo BC: mercado interbancário



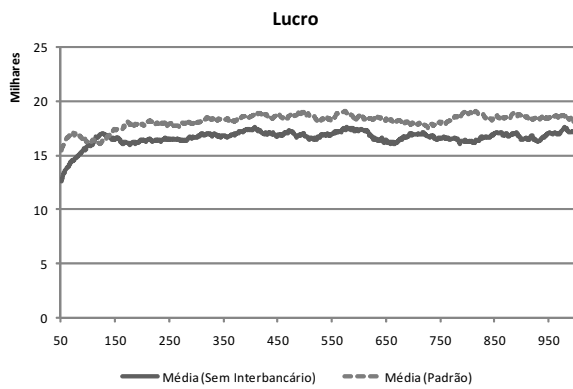
(b) Empréstimo Economia Real



(c) Capitalização



(d) Liquidez

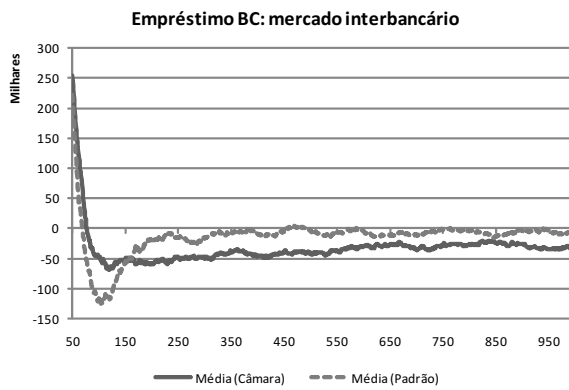


(e) Lucro

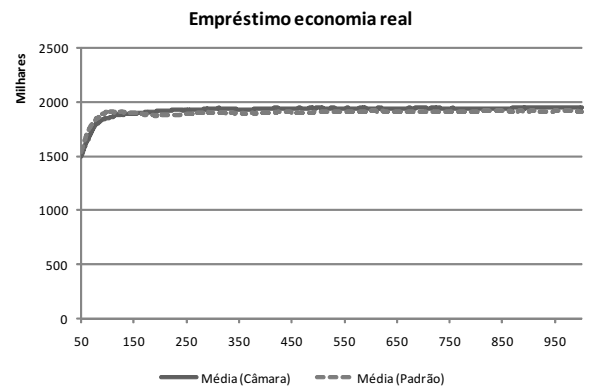
5.3.6 Configuração 6: Câmara

A figura 6 mostra os resultados da simulação para esta configuração.

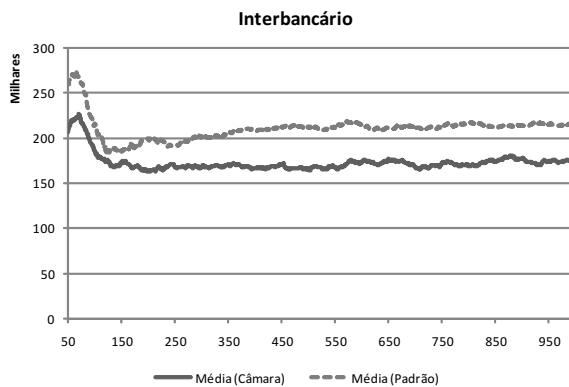
Figura 6: Câmara



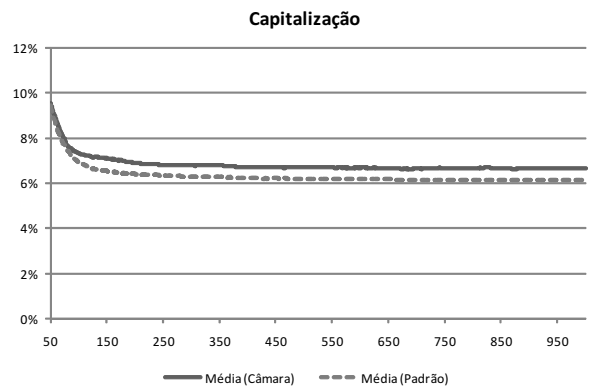
(a) Empréstimo BC: mercado interbancário



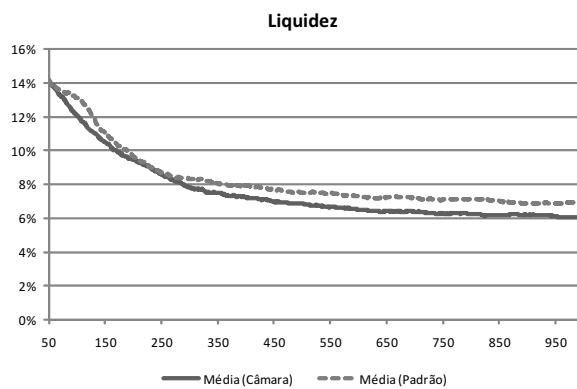
(b) Empréstimo Economia Real



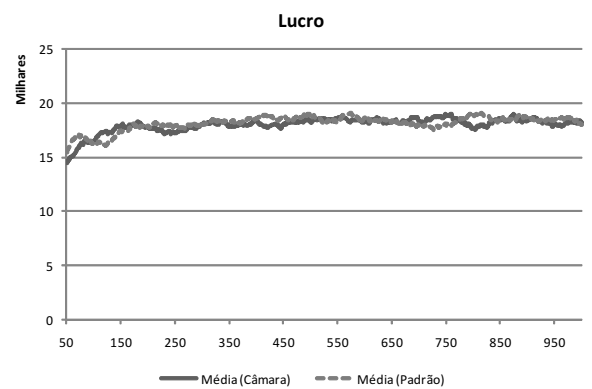
(c) Interbancário



(d) Capitalização



(e) Liquidez



(f) Lucro

A introdução da Câmara no mercado interbancário trouxe alguns resultados inesperados para as variáveis agregadas analisadas. Destaca-se, inicialmente, a redução de 17% no volume de empréstimos no mercado interbancário (sub-figura c), em parte compensada pelo financiamento dado pelo BC nesse mercado (sub-figura a). Aparentemente, os bancos têm mais dificuldade em aprender a igualar a oferta e a demanda de recursos no mercado interbancário devido à aleatoriedade com que as negociações são realizadas. Assim, um banco credor no mercado interbancário não tem como influenciar a posição da fila de negociação na qual ele estará, tornando incerto se ele acabará emprestando para outro banco ou para o BC, e possivelmente inibindo sua participação no mercado interbancário. Apesar disso, não se verificaram alterações significativas tanto no volume de empréstimos para a economia real (sub-figura b) quanto no lucro do bancos (sub-figura f).

5.4 Testes de estresse

5.4.1 Choque Macroeconômico

Na tabela 3, a coluna 'Falências' indica o número médio (por ciclo) de bancos que faliram¹⁰ com o choque macroeconômico, para cada uma das configurações discutidas, assim como o seu desvio padrão em relação à média. A coluna mais à direita contém o total (ao longo dos mil ciclos) de bancos que não teriam falido devido ao choque de estresse, mas acabaram falindo devido ao contágio de outros bancos inadimplentes..

Tabela 3: Choque Macroeconômico

Configuração	Falências		Contágio
	Média	Desvio Padrão	Total
Padrão	7,5	31%	115
Conf. 1 (Capital 7,5%)	0,5	134%	0
Conf. 2 (Liquidez 15%)	6,5	33%	119
Conf. 3 (Risco economia real 10%)	11,0	25%	100
Conf. 4 (D.P. depósitos 10%)	6,7	34%	70
Conf. 5 (Sem Interbancário)	5,9	34%	0
Conf. 6 (Câmara)	8,2	32%	39

Cabe destacar alguns resultados encontrados. Primeiramente, observa-se que o aumento de exigência mínima de capital para 7,5% (configuração 1) reduziu drasticamente o número médio de falências por ciclo, inclusive impedindo qualquer tipo de contágio entre os bancos. Em segundo lugar, mesmo com a redução no volume de empréstimos no mercado interbancário, o número de bancos que sofreram contágio na configuração 2 foi equivalente ao da configuração padrão. Tal fato reflete a fragilidade de um dos bancos, que se repetia ao longo das simulações, não sendo reduzida com a diminuição do volume de empréstimos interbancários. Finalmente, a

¹⁰Considera-se que o banco faliu quando seu capital ou patrimônio líquido se torna negativo

inclusão da câmara, ainda que tenha provocado pequeno aumento na média de falências, reduziu de forma significativa o efeito contágio.

5.4.2 Choque Microeconômico

Ao se passar de um choque macroeconômico moderado para um choque microeconômico extremo, no qual, a cada ciclo, um dos bancos tem perda total em seus empréstimos para a economia real, percebe-se o aumento considerável na ocorrência de contágio (tabela 4). Mesmo o aumento na exigência de capital mínimo (configuração 1) não tem efeito sobre o número total de ocorrências de contágio.

Tabela 4: Choque Microeconômico

Configuração	Contágio (Total)
Padrão	369
Conf. 1 (Capital 7,5%)	368
Conf. 2 (Liquidez 15%)	210
Conf. 3 (Risco economia real 10%)	364
Conf. 4 (D.P. depósitos 10%)	378
Conf. 6 (Câmara)	104

Destaca-se, no entanto, as configurações 2 (Liquidez 15%) e 6 (Câmara), onde se observou redução no número de bancos que sofreram contágio. No caso do aumento da liquidez mínima, a redução do volume de empréstimos no mercado interbancário claramente diminuiu a probabilidade de contágio. Devido a essa redução, os bancos credores no mercado interbancário tinham mais propensão a suportar as perdas resultantes da inadimplência de sua contraparte.

Com a inclusão da Câmara, tornou-se ainda mais perceptível a redução do contágio interbancário, devido tanto à diminuição do volume de empréstimos neste mercado como à proteção adicional dada aos bancos credores por meio das garantias recolhidas pela Câmara. É importante salientar, no entanto, a forma como o contágio com a presença da Câmara ocorre neste modelo. Como o fundo de garantias é dimensionado para suportar a inadimplência do participante com maior saldo devedor, os bancos credores do banco afetado pelo choque microeconômico não sofrem perdas, recebendo na integralidade os valores emprestados. No entanto, os bancos que contribuíram para o fundo acabam sofrendo perdas em virtude de sua utilização, podendo, inclusive, vir a falir.

Percebe-se, então, que a Câmara não impede que as perdas provenientes do choque atinjam o balancetes dos bancos, apenas redistribui essas perdas de forma que elas não fiquem concentradas em poucos bancos credores, com maior chance de contágio. Assim, quanto menor a contribuição individual de um banco para o fundo em relação ao seu total, menor será a probabilidade de que ele sofra contágio devido à utilização de sua parcela para cobrir a inadimplência de outro banco.

6 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo oferecer uma ferramenta para avaliar o impacto de medidas regulatórias ou de mudanças na estrutura do mercado interbancário sobre uma rede de bancos. As medidas regulatórias visam a aumentar a resiliência do sistema bancário a diversos tipos de choques, sendo importante avaliar sua eficácia assim como seus efeitos colaterais.

Para ultrapassar as barreiras impostas por uma modelagem analítica, optou-se por utilizar uma modelagem computacional baseada em agentes (*agents based modelling*). Essa abordagem permitiu configurar cada agente (banco) separadamente, criando uma rede heterogênea de bancos com diferenças em termos de volume de depósitos e de capital, entre outras. A diferenciação entre bancos foi fator fundamental para o aparecimento de relações interbancárias, com o excesso de liquidez de alguns bancos fluindo para bancos com escassez de liquidez.

Ao contrário de diversos estudos anteriores sobre rede de bancos, os quais em geral se baseavam em modelos estáticos, o presente trabalho trouxe uma contribuição importante ao apresentar um modelo dinâmico computacional do sistema bancário, com bancos dotados de capacidade de aprendizado. Tal característica permitiu estudar o impacto da alteração de algum parâmetro do modelo sobre as escolhas estratégicas dos bancos e, conseqüentemente, sobre as configurações finais de equilíbrio.

Adicionalmente, o modelo procurou mimetizar as principais decisões que o banco deve tomar relacionadas ao seu nível de capitalização e de liquidez, tendo em conta os diversos tipos de choques aos quais está sujeito nos mercados em que atua. Assim, uma vez atingido o equilíbrio no qual os bancos tenham escolhido suas estratégias ótimas e de posse das relações interbancárias que surgiram naturalmente durante o processo de aprendizado, é possível submeter toda a rede de bancos a choques extremos e inesperados, testando a capacidade de absorção e medindo o grau de contágio no sistema.

Os resultados encontrados para as diversas configurações estiveram alinhados com o que se esperava do processo de aprendizado dos bancos. Assim, por exemplo, na configuração padrão, os bancos conseguem reduzir praticamente a zero a participação do Banco Central no mercado interbancário, uma vez que suas taxas, tanto como tomador quanto como prestador de última instância, são menos atrativas do que aquelas encontradas em outros mercados. No caso da configuração 4, ao se dobrar o desvio padrão dos depósitos, o que se observou foi o reajuste do nível de liquidez dos bancos perante o maior risco de liquidez a que estavam sujeitos.

Os testes de estresse também mostraram diversos resultados interessantes. Para o choque macroeconômico, o aumento do nível de capital mínimo foi crucial para a diminuição do número de falências dos bancos, impedindo, inclusive, qualquer tipo de contágio. No entanto, ao se observar o choque microeconômico, essa medida teve pouco efeito na contenção do contágio entre os bancos se comparada com a configuração padrão. Já com a introdução da Câmara, o efeito contágio reduziu-se substancialmente para os dois tipos de choques.

Diante do exposto, pode-se dizer que o modelo apresentado propõe-se a servir de base para

o estudo de redes de bancos utilizando a modelagem baseada em agentes com capacidade de aprendizado. Entre suas características principais, destaca-se o elevado grau de heterogeneidade possível de ser obtido entre os bancos por meio dos diversos parâmetros do modelo, reproduzindo em parte a complexidade naturalmente existente em um sistema deste tipo.

Para tornar o modelo factível, foi necessário introduzir diversas simplificações neste estágio inicial, abrindo um campo grande de possíveis variações ou melhorias para o avanço dos estudos nesta área. A primeira extensão possível de ser feita é a de tornar endógenas as taxas de juros utilizadas. Provavelmente seria necessária a criação de outros tipos de agentes, como consumidores e firmas, e de algum mecanismo de *market clearing* para achar as taxas de equilíbrio. O *ACE Trading World* (Teshfatsion, 2006b) pode ser uma referência útil na melhoria do modelo. Ao tornar as taxas endógenas, abre-se também a possibilidade de se estudar os mecanismos de transmissão da política monetária e seus efeitos sobre a economia real.

Outra possibilidade é a de se incluir um comportamento de corrida bancária entre os correntistas dos bancos. Nesse sentido, Anand et al. (2009) podem fornecer subsídios para essa extensão do modelo, utilizando a literatura de *global games* para incluir entre os credores dos bancos a possibilidade de corrida bancária devido à perda de confiança na solvência do banco.

Finalmente, dentro do próprio modelo proposto, pode-se explorar com mais detalhes o efeito da alteração de alguns parâmetros ou processos sobre o equilíbrio final, como, por exemplo, a utilização de outros métodos de aprendizado para os bancos ou a mudança na metodologia de cálculo dos ativos ponderados pelo risco (Basileia II ou III).

Referências

- Adrian, T., Brunnermeier, M., 2008. Covar. Federal Reserve Bank of New York Staff Reports 348.
- Allen, F., Gale, D., 2000. Financial contagion. *Journal of Political Economy* 108(I), 1–33.
- Allen, F., Saunders, A., 2004. Incorporating systemic influence into risk measurements: a survey of the literature. *Journal of Financial Services Research* 26.
- Anand, K., Gai, P., Marsili, M., 2009. Financial crises and the evaporation of trust. *Quantitative Finance Papers* 0911, 3099.
- Basel Committee on Banking Supervision, ., 2010. Basel iii: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems. Bank for International Settlements Communications.
- Cajueiro, D., Tabak, B. M., 2008. The role of banks in the brazilian interbank market: Does bank type matter? *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 387, 6825–6836.
- Camerer, C. F., Ho, T.-H., 1999. Experience-weighted attraction learning in normal form games. *Econometrica* 67(4), 827–874.
- Committee on Payment Settlement Systems, ., 2001. Core principles for systemically important payment systems. Committee Publications - BIS website.
- Committee on Payment Settlement Systems, ., 2003. A glossary of terms used in payments and settlement systems. Committee Publications - BIS website.
- Diamond, D. W., Dybvig, P. H., 1983. Bank runs, deposit insurance, and liquidity. *Journal of Political Economy* 91-3(6), 401–19.
- Eisenberg, T., Noe, T. H., 2001. Systemic risk in financial systems. *Management Science* 47(2), 236–249.
- Elsinger, H., Lehar, A., Summer, M., 2006. Risk assessment for banking systems. *Management Science* 52(9), 1301–1314.
- Financial Crisis Inquiry Commission USA, ., 2011. The financial crisis inquiry report. Official Government Edition.
- Freixas, X., Parigi, B., Rochet, J., 2000. Systemic risk, interbank relations and liquidity provision by central bank. *Journal of Money* 32, 611–638.
- Freixas, X., Rochet, J., 1997. *Microeconomics of banking*. The MIT Press.

- Iori, G., Jafarey, S., Padilla, F., 2006. Systemic risk on the internet market. *Journal of Economic Behaviour and Organization* 61(4), 525–542.
- LeBaron, B., 2000. Agent-based computational finance: Suggested readings and early research. *Journal of Economic Dynamics and Control* 5-7(6), 679–702.
- LeBaron, B., Tesfatsion, L., 2008. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review* 98(2), 246–250.
- Lettau, M., 1997. Explaining the facts with adaptive agents: The case of mutual fund flows. *Journal of Economic Dynamics and Control* 21, 1117–1148.
- Lucas, R., 1976. Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 1, 19–46.
- Morris, S., Shin, H., 2008. Financial regulation in a system context. *Brookings Papers on Economic Activity* (10).
- Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T., Alentorn, A., 2007. Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control* 31, 2033–2060.
- Pouget, S., 2007. Adaptive traders and the design of financial markets. *Journal of Finance* 62, 2835–2863.
- Tesfatsion, L., 2006a. Agent-based computational economics: a constructive approach to economic theory. *Handbook of Computational Economics* 2, 831–880.
- Tesfatsion, L., 2006b. Agent-based computational modeling and macroeconomics. *Staff General Research Papers - Iowa State University, Department of Economics* 12402(4).