UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

JUNJI KATTO

**Análise da dinâmica da transmissão da política monetária através do canal de
crédito utilizando modelagem baseada em agentes**

São Paulo
2014

JUNJI KATTO

Análise da dinâmica da transmissão da política monetária através do canal de crédito utilizando modelagem baseada em agentes

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação Modelagem de Sistemas Complexos

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 20 de outubro de 2014. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca Gatti et ca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração :

Modelagem de Sistemas Complexos
aplicada à Economia

Orientador (a) :

Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

São Paulo
2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Katto, Junji

Análise da dinâmica da transmissão da política monetária através do canal de crédito utilizando modelagem baseada em agentes / Junji Katto ; orientador, Fernando Fagundes Ferreira. – São Paulo, 2014
67 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2014
Versão corrigida.

1. Política monetária - Simulação. 2. Política monetária – Modelos matemáticos. 3. Crédito - Simulação. 4. Crédito – Modelos matemáticos. 5. Empréstimo bancário. 6. Sistemas dinâmicos. 7. Modelo baseado em agentes. I. Ferreira, Fernando Fagundes, orient.
II. Título.

CDD 22.ed. – 332.46015118

Nome: Junji Katto

Título: Análise da dinâmica da transmissão da política monetária através do canal de crédito utilizando modelagem baseada em agentes

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação Modelagem de Sistemas Complexos

Aprovado em: 20/10/2014

Banca examinadora

Nome: Fernando Fagundes Ferreira

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Nome: Terry Ivanauskas

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Nome: Michel Alexandre da Silva

Banco Central do Brasil

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a DEUS, pois sou uma pessoa muito abençoada em todos os sentidos. Agradeço pelas lutas, pelo caminho, e pelas graças alcançadas.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira, que com seu entusiasmo e paciência orientou-me brilhantemente ao longo desta importante jornada em minha vida. A todos os docentes do programa de Modelagem de Sistemas Complexos da EACH e aos companheiros de turma: a interação com todos fez emergir momentos inesquecíveis resultando em um aprendizado riquíssimo!

À Fundação Instituto de Física Teórica pela hospitalidade em ceder seu espaço físico, facilitando na logística dos encontros com meu orientador, principalmente no período de maior dificuldade durante o fechamento do campus da USP Leste.

Ao colega de turma, Eduardo Souza Diaz, que conseguiu reproduzir os resultados do artigo de Gatti et al. (2009) e compartilhou o algoritmo, sem o qual não conseguiria ter implementado o modelo deste trabalho.

Aos meus pais, Elisa Yumiko Yoza Katto e Iochihiro Katto, os meus sinceros agradecimentos por sempre me apoiarem e incentivarem, por serem minha base e responsáveis pela minha formação e pelo meu caráter. Ao meu irmão, Kiyoshi Yoza Katto, pelo companheirismo e por ser minha referência em praticamente tudo, e ao Takeshi Katto, por estar sempre por perto, de alguma forma.

Agradeço aos meus gestores na empresa que trabalho: Rodrigo Sorelli, Patrícia Lúcia Valério Andrade Perazzetta, Sergio Rene el Kadi e Keidy Marcelo Sakamoto. Sem o apoio deles não teria condições de atender ao programa de mestrado em paralelo às minhas atividades profissionais.

E um agradecimento especial à minha princesa, Priscila Ariádine Gimenez, cuja dedicação, determinação e amor em tudo que faz inspiram-me nos desafios e fazem-me sonhar cada vez mais alto.

RESUMO

KATTO, J. 2014. **Análise da dinâmica da transmissão da política monetária através do canal de crédito utilizando modelagem baseada em agentes**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica da transmissão da política monetária através dos canais de crédito (Canal de Empréstimo Bancário e Canal dos Balanços Patrimoniais), utilizando conceitos e ferramentas da área de Sistemas Complexos para simular uma economia representada por diferentes setores em que os agentes estão interconectados através de relacionamentos de crédito. O presente modelo baseia-se no trabalho de Gatti et al. (2009), que fez uso da modelagem baseada em agentes. A novidade foi introduzir um mecanismo de transmissão da política monetária através de um mercado interbancário e de uma taxa básica de juros permitindo analisar os impactos na economia através dos canais de crédito. O resultado da simulação mostra que o impacto das políticas monetárias no âmbito microeconômico podem se desenvolver como resultado da interação complexa desses agentes heterogêneos através de relacionamentos de crédito ao longo do tempo, e as variáveis no âmbito macroeconômico, como a taxa básica de juros, afetam o próprio sistema através de um processo de retroalimentação ou *feedback*.

Palavras-chave: Transmissão da Política Monetária. Sistemas Complexos. Modelagem Baseada em Agentes.

ABSTRACT

KATTO, J. 2014. **Analysis of the monetary policy transmission through the credit channel using agent-based modeling**. 81 f. Dissertation (Master in Science) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

This study aims to analyze the dynamics of the monetary policy transmission through the credit channels (Bank Lending Channel and Balance Sheets Channel), using concepts and tools from the Complex Systems field to simulate an economy represented by different sectors in which agents are interconnected via credit relationships. This model is based on the work of Gatti et al. (2009) that used agent-based modeling. The novelty was to introduce a transmission mechanism of monetary policy through an interbank market and a primary interest rate, allowing the analysis of the impacts on the economy through the credit channels. The simulation results show that the impact of monetary policy on microeconomic level can be developed as a result of the complex interaction of these heterogeneous agents via credit relationships over time, and the variables in the macroeconomic context, such as the primary interest rate, affect the system through a feedback process.

Keywords: Monetary Policy Transmission. Complex Systems. Agent-Based Modeling.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	11
1.3	JUSTIFICATIVA	11
2	CONCEITOS EM POLÍTICA MONETÁRIA	13
2.1	INSTRUMENTOS DE POLÍTICA MONETÁRIA	13
2.1.1	Operações de Mercado Aberto – Open Market	13
2.1.2	Recolhimento de compulsórios	14
2.1.3	Redesconto	14
2.2	POLÍTICA MONETÁRIA EXPANSIONISTA E RESTRITIVA	14
2.3	TRANSMISSÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA	15
2.3.1	Canal de Juros	16
2.3.2	Canal da Riqueza ou Canal do Preço dos Ativos	16
2.3.3	Canal de Crédito	16
2.3.3.1	Canal do Empréstimo Bancário	17
2.3.3.2	Canal dos Balanços Patrimoniais	18
3	CONCEITOS EM COMPLEXIDADE	19
3.1	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA COMPLEXO	21
3.2	MODELAGEM BASEADA EM AGENTES	24
3.2.1	Agentes	25
3.2.2	Ambiente	27
3.2.3	Interações	27
3.3	SISTEMAS COMPLEXOS E REDES BASEADAS EM RELACIONAMENTOS DE CRÉDITO NA LITERATURA	28
4	MODELO BASE	30
5	EXTENSÃO DO MODELO	39
5.1	INCLUSÃO DE UMA REDE INTERBANCÁRIA DE CRÉDITO	39
5.2	INCLUSÃO DE UMA TAXA BÁSICA NA ECONOMIA	41
5.3	INCLUSÃO DE UMA TAXA DE REFERÊNCIA PARA OS CONTRATOS DE CRÉDITO NA ECONOMIA	42

5.4	COMPOSIÇÃO DA TAXA DE JUROS	42
5.5	IMPLEMENTAÇÃO DE UMA POLÍTICA MONETÁRIA	43
5.6	PREMISSAS	44
6	RESULTADOS	46
6.1	REPRODUÇÃO DOS RESULTADOS DE GATTI ET AL. (2009)	46
6.2	EXTENSÃO DO MODELO: CRIAÇÃO DE UM MERCADO INTERBANCÁRIO	51
6.3	COMPOSIÇÃO DO RISCO	53
6.4	IMPLEMENTAÇÃO DE UMA POLÍTICA MONETÁRIA	54
6.4.1	Transmissão da política monetária – Canal dos Balanços Patrimoniais	55
6.4.1.1	Impacto nas Firmas Downstream	55
6.4.1.2	Impacto nas Firmas Upstream	57
6.4.1.3	Inadimplência	58
6.4.1.4	Impacto nos Bancos	59
6.4.1.5	Impacto na Precificação dos Contratos no Empréstimo Bancário	60
6.4.1.6	Impacto na Produção Agregada	62
6.4.2	Transmissão da política monetária – Canal do Empréstimo Bancário	63
7	CONCLUSÃO	65
8	REFERÊNCIAS	68
9	ANEXOS	71
	ANEXO A. Fórmulas do Fluxo de Orçamento da Firma Downstream	71
	ANEXO B. Fórmulas do Fluxo de Operação da Firma Downstream	72
	ANEXO C. Fórmulas do Fluxo de Resultado da Firma Downstream	73
	ANEXO D. Fórmulas do Fluxo de Orçamento da Firma Upstream	74
	ANEXO E. Fórmulas do Fluxo de Operação da Firma Upstream	75
	ANEXO F. Fórmulas do Fluxo de Resultado da Firma Upstream	76
	ANEXO G. Fórmulas do Fluxo de Orçamento do Banco	77
	ANEXO H. Fórmulas do Fluxo de Operação do Banco	77
	ANEXO I. Fórmulas do Fluxo de Resultado do Banco	78
	ANEXO J. Fórmulas do Fluxo de Orçamento do Banco – Fluxo Estendido	79
	ANEXO K. Fórmulas do Fluxo de Operação do Banco – Fluxo Estendido	80
	ANEXO L. Fórmulas do Fluxo de Resultado do Banco – Fluxo Estendido	81

1 INTRODUÇÃO

Na elaboração de políticas econômicas, os tomadores de decisões devem levar em consideração o estudo da conjuntura econômica. As decisões são suportadas pelas análises de variáveis macroeconômicas (PIB¹, inflação, taxa de desemprego, etc.) e pelas possíveis implicações das políticas econômicas do âmbito macroeconômico para o microeconômico. Na literatura foram mapeados diversos canais pelos quais analisam-se o impacto das políticas monetárias do âmbito macro para o micro, processo também chamado de Transmissão da Política Monetária. Por essa razão, é importante discutir de forma crítica os paradigmas atuais e propor novas abordagens para suportar as decisões das políticas econômicas.

Após a crise de 2008 ficou evidente o fato de que os modelos utilizados para a análise de risco não foram eficazes o suficiente para mensurar a probabilidade de um colapso sistêmico. Foi apenas uma evidência de que é necessário entender melhor sobre o comportamento dos mercados financeiros e do arcabouço econômico de fato, e que novos paradigmas deveriam ser considerados. Segundo Kirman (2009), o colapso do mercado financeiro foi também o colapso dos modelos financeiros, e Farmer e Foley (2009) defendem o uso de novos modelos que lidem com uma gama mais abrangente de comportamentos não lineares, que não assumem que a economia se move para estados de equilíbrio predeterminados. A economia necessita de novos paradigmas que possam fornecer análises mais próximas da realidade dando mais subsídios para entender a dinâmica do mercado (GATTI et al., 2010).

Os modelos utilizados para o estudo científico são simplificações da realidade e, por isso, limitados. A realidade é muito mais complexa e os modelos são apenas ferramentas utilizadas, baseadas em diversos pressupostos, para se estudar o mundo real (MITCHELL, 2009). Os modelos clássicos macroeconômicos, por exemplo, possuem diversos pressupostos como racionalidade dos agentes, inexistência de assimetria da informação e independência dos resultados. Além disso, não levam em consideração a heterogeneidade dos agentes, mas sim o conceito de agente representativo. Toda sua teoria está baseada na teoria geral do equilíbrio, em que o comportamento do sistema se move para pontos de equilíbrio predefinidos. Modelos econométricos, em contrapartida, utilizam métodos estatísticos para definir modelos e refinar

¹ Produto Interno Bruto (PIB): Total dos bens e serviços produzidos em uma economia pelas entidades produtoras residentes, destinadas ao consumo final.

seus parâmetros a partir de dados passados e são limitados no entendimento que podem fornecer (FARMER, 2012).

A aplicação do conceito de complexidade traz um novo conjunto de conceitos e ferramentas para tratar os mais variados problemas sob um novo prisma, abordando não só os problemas relacionados ao campo da economia, mas quaisquer problemas relacionados a sistemas que não apresentam um comportamento linear, cujos comportamentos situam-se entre o caos e a regularidade (PAGE; MILLER, 2007).

O presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica da transmissão da política monetária por meio do canal de crédito, realizando simulações por meio do modelo baseado em agentes em uma rede conectada através de relacionamentos de crédito.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: os itens 2 e 3 introduzem conceitos de política monetária e sistemas complexos, respectivamente. No item 4 é apresentado o modelo base de Gatti et al. (2009), e no item 5 são detalhadas as características do modelo deste trabalho, que é uma extensão do primeiro. No item 6 são apresentados os resultados. A conclusão é apresentada no capítulo 7. As referências e anexos são apresentados nos itens 8 e 9, respectivamente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a transmissão da dinâmica da política monetária utilizando-se de conceitos da área da complexidade, modelando um sistema baseado no modelo de Gatti et al. (2009), que faz uso de uma Modelagem Baseada em Agentes e que simula uma economia baseada em relacionamentos de crédito entre agentes de diferentes setores. Foi introduzido um mecanismo de transmissão da política monetária ao modelo através da implementação de um mercado interbancário e da implementação de uma taxa básica na economia, permitindo analisar os impactos na economia através dos canais de crédito.

1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Implementar e simular um modelo baseado em agentes de um sistema conectado através de relacionamentos de crédito, reproduzindo os resultados do trabalho de Gatti et al. (2009).
- Estender o modelo de Gatti et al. (2009), implementando uma rede interbancária utilizando mesmas regras de interação e precificação dos contratos de empréstimos bancários.
- Criar uma taxa básica de juros exógena ao sistema e realizar a composição da taxa de juros nos contratos de crédito no mercado interbancário. A taxa média ponderada dos contratos de crédito no mercado servirá como referência para os contratos de crédito de empréstimo bancário e da cadeia produtiva.
- Implementar um mecanismo de transmissão da política monetária através de uma variável exógena ao sistema que define a variação da taxa meta (Δr_{meta}). Ao impactar a taxa dos contratos de crédito no mercado interbancário, que serve como referência para as demais da economia, o efeito repercutirá em todos os contratos de crédito na economia.
- Analisar a dinâmica da transmissão da política monetária pelo canal de empréstimo bancário, através da relação de crédito entre bancos em uma rede interbancária, entre firmas e bancos através de empréstimos bancários, e entre firmas (*Downstream* e *Upstream*) em uma cadeia produtiva.
- Analisar a dinâmica da transmissão da política monetária através do canal dos balanços patrimoniais, em que os impactos no balanço contábil das firmas e bancos afetam diretamente na precificação dos contratos e nos relacionamentos de crédito entre esses agentes.

1.3 JUSTIFICATIVA

A política monetária é um importante instrumento para se implementar mudanças na economia. Mas seu impacto do âmbito macro para o micro nem sempre é claro e estudos de como essas mudanças repercutem na economia são importantes para que sejam tomadas as melhores decisões.

Portanto, é primordial que os agentes econômicos entendam a dinâmica da transmissão das políticas públicas para analisar, a priori, se determinadas ações terão os efeitos desejados na economia. O entendimento dessa dinâmica é importante não só para os órgãos que elaboram e executam as políticas econômicas, como também para todos os agentes da economia.

Para entender a dinâmica da transmissão da política monetária, é preciso compreender como as mudanças afetam a interação entre os agentes de uma economia ao longo do tempo, e quais fenômenos macroeconômicos emergem de determinada conjuntura econômica. O resultado macroeconômico esperado é resultado da interação e do comportamento dos agentes que compõem essa economia em rede, interligada através de relacionamentos de cadeia produtiva, de crédito, e por diversas outras relações.

No paradigma tradicional, conceitos e modelos econômicos utilizados para mensurar os impactos dessas políticas introduzem diversos pressupostos que resultam em uma simulação de uma economia inexistente, em que os agentes são racionais e maximizam os recursos, não havendo assimetria da informação e os resultados são independentes. A heterogeneidade, a adaptabilidade e a interação entre os agentes são desconsiderados. Por outro lado, na econometria, utilizam-se conceitos estatísticos na formulação de formas e no refinamento dos parâmetros de modelos a partir de dados. Esses modelos são limitados à análise preditiva que podem realizar e no entendimento que podem fornecer, pois baseiam-se em dados históricos e não analisam a interação das variáveis, ou componentes, que fazem emergir os fenômenos observados (FARMER, 2012).

O presente trabalho propõe utilizar novos paradigmas para analisar a dinâmica dos impactos da política monetária no canal de crédito aplicando conceitos e modelos do campo da complexidade.

2 CONCEITOS EM POLÍTICA MONETÁRIA

Para atender às necessidades e visar ao bem-estar de uma sociedade, o governo atua através de políticas econômicas, que podem ser definidas pelas políticas monetária, fiscal e cambial. Neste trabalho, abordou-se apenas o estudo da política monetária. Entretanto, o *framework* resultante deste trabalho dá base para que sejam implementados modelos que levem em conta a política fiscal e cambial.

A política monetária permite ao governo atuar no controle da base monetária, na taxa de juros e nas condições de crédito e tem como objetivos: realizar o controle da moeda, garantir a solvência do mercado e atuar no custo e nível de oferta de crédito. O Banco Central de um país é, normalmente, o órgão responsável pela implementação de políticas monetárias. No Brasil, por exemplo, o BACEN é o órgão executor da política monetária e tem como objetivo implementar as metas estabelecidas pelo Conselho Monetário Nacional (FEIJÓ et al., 2008).

2.1 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA MONETÁRIA

O Banco Central de uma economia executa as políticas monetárias através dos instrumentos: *open market*, recolhimento de compulsórios e redesconto, detalhados a seguir.

2.1.1 Operações de Mercado Aberto – *Open Market*

Instrumento utilizado para mudar o tamanho da base monetária, no qual o Banco Central negocia ativos (títulos públicos) realizando a compra (aumentado base monetária) ou venda (diminuindo base monetária). O instrumento também é utilizado para influenciar a taxa de juros de curto prazo² para que esta fique em torno de uma taxa meta definida pelos órgãos reguladores do mercado.

² Taxa de juros de curto prazo: Taxa de juros de intervalo de tempo inferior a um ano.

2.1.2 Recolhimento de compulsórios

Proporção sobre os depósitos captados que os bancos devem manter com o Bacen. Ao alterar a proporção, altera-se a oferta de moeda na economia.

2.1.3 Redesconto

Linha de crédito do Bacen para as instituições financeiras satisfazerem as necessidades temporárias de liquidez, para garantir a solvência em momentos de estresse financeiro.

Neste trabalho, analisou-se a transmissão da política monetária através do uso do instrumento *open market*, onde o Banco Central implementa a política monetária, que neste modelo é definido por uma variação na taxa meta (Δr_{meta}), através da negociação de títulos públicos com os participantes do mercado. A negociação de títulos públicos está implícita no modelo, em que se observa somente o impacto do Δr_{meta} nas taxas dos contratos de crédito do mercado interbancário. E a taxa média ponderada dos contratos de crédito no mercado interbancário serve como taxa de referência para todo o mercado de crédito, também conhecida como taxa básica de juros³ ou taxa livre de risco⁴.

2.2 POLÍTICA MONETÁRIA EXPANSIONISTA E RESTRITIVA

Dependendo da conjuntura econômica, a política monetária pode ser expansionista ou restritiva. A política monetária é expansionista quando a meta é elevar a liquidez aumentando a base monetária, estimular o aumento de investimentos e produção agregada, aumentar oferta de crédito e reduzir seu custo. Neste trabalho, o instrumento utilizado é a variação taxa meta de juros. O impacto dessa política monetária está descrito na Fórmula (1), a seguir:

$$M \uparrow \Rightarrow \Delta r_{meta} \downarrow \Rightarrow r_f \downarrow \Rightarrow Y \uparrow, C \downarrow \quad (1)$$

em que M representa a política monetária e o sentido da flecha ($\uparrow$) significa uma política monetária expansionista. Δr_{meta} é alteração da taxa meta definida pela política monetária, r_f é a taxa livre de risco, Y é a produção agregada (PIB) e C é o custo do crédito.

³ Taxa básica de juros: Taxa de juros usada como referência para outras taxas de juros.

⁴ Taxa livre de risco: Taxa de retorno de um ativo sem risco de inadimplência.

Na literatura, conforme descrito em Galle (2012), existem basicamente três canais: Canal da Taxa de Juros (*Interest Rate Channel*), Canal de Preços dos Ativos (*Wealth Channel*) e Canal de Crédito (*Bank Lending Channel* e *Balance Sheets Channel*).

2.3.1 Canal de Juros

O canal da taxa de juros impacta no consumo de produtos e serviços, no custo de capital, investimento e, conseqüentemente, no nível de produção agregado. Um aumento na taxa de juros normalmente leva a uma redução no consumo, pois poupar torna-se mais atrativo ao aumento do custo de financiamento e à redução do investimento e do consumo. Além disso, altera-se o custo de capital para as empresas dada a alteração no custo de oportunidade⁶, custo de financiamento e retorno esperado pelos acionistas. Como resultado, há uma redução na demanda e na produção agregada.

2.3.2 Canal da Riqueza ou Canal do Preço dos Ativos

Canal pelo qual uma política monetária afeta o preço de ativos levando ao aumento ou à diminuição de riquezas. Por exemplo, uma redução nas taxas de juros pode aumentar o valor de ativos por conta do aumento da demanda. Por meio do aumento do valor de ativos aumenta-se a riqueza de indivíduos que, por sua vez, pode levar ao aumento do consumo e, conseqüentemente, da produção agregada da economia.

2.3.3 Canal de Crédito

Ciclos econômicos podem surgir a partir de pequenos impulsos monetários, e o estudo realizado por Gatti et al. (2009) mostra que podem emergir como resultado das interações de agentes heterogêneos através de relacionamentos de crédito. Políticas monetárias impactam diretamente nos relacionamentos de créditos, seja na oferta ou na precificação dos contratos de crédito.

⁶ Custo de oportunidade: Renda líquida gerada pelo recurso em questão em seu melhor uso alternativo.

O crédito, segundo Chacko et al. (2006), caracteriza-se pelo recurso financeiro concedido por um credor a um tomador. Em troca do crédito, o tomador paga ao credor uma taxa de juros. A operação crédito pode variar de várias formas dependendo do tipo da contraparte (indivíduos, companhias e governo) e do tipo de obrigação da operação (crédito pessoal, transações de derivativos financeiros, etc.). É um importante relacionamento para empresas de pequeno e médio porte onde, muitas vezes, representam a única fonte de financiamento dos mesmos (KHOLER, 2000).

O mercado de crédito permite que os agentes superavitários repassem os recursos excedentes aos agentes deficitários, que necessitam de capital para suprir a deficiência de recursos (FEIJÓ et al., 2008). O financiamento no mercado de crédito é realizado por intermediários, principalmente por bancos comerciais, que assumem o risco e os custos da transação. A diferença da taxa de captação dos bancos comerciais e a taxa oferecida pelos agentes superavitários para os agentes deficitários é chamada de *spread*⁷ bancário.

Alterações na taxa básica da economia, através de uma política monetária, impactam diretamente nos relacionamentos de créditos, seja na oferta de crédito ou na precificação dos contratos de crédito.

Na literatura, o Canal de Crédito pode ser subdividido em dois canais: Canal do Empréstimo Bancário e Canal dos Balanços Patrimoniais.

2.3.3.1 Canal do Empréstimo Bancário

O Canal do Empréstimo Bancário (*Bank Lending Channel*) refere-se ao meio de propagação de uma política monetária na oferta de crédito na economia, impactando nos fundos disponíveis do banco para empréstimos bancários. Ao implementar uma política monetária, por exemplo, aumentando o compulsório exigido sobre os depósitos nos bancos, reduz-se o capital disponível para empréstimos bancários e a oferta de crédito diminui. Além disso, um aperto monetário como o aumento dos juros pode levar a problemas de racionamento de crédito, como descrito em Stiglitz e Weiss (1981), em que em vez de realizar empréstimos a juros mais elevados, os bancos passam a restringir a oferta de crédito, mesmo havendo participantes dispostos a pagar juros maiores.

⁷ *Spread*: Diferença da taxa de captação e da taxa ofertada pelos bancos.

2.3.3.2 Canal dos Balanços Patrimoniais

O Canal dos Balanços Patrimoniais (*Balance Sheets Channel*) é um canal pelo qual uma política monetária afeta os relacionamentos de crédito através de impactos nos balanços patrimoniais dos agentes em uma economia. O efeito estende-se pelos ativos e passivos, afetando o custo do financiamento e investimento, decisões de consumo e investimento de bens duráveis, nas taxas com as quais um agente desconta seus fluxos de caixa, e na taxa de remuneração requerida pelos acionistas no caso de firmas. E ao impactar os balanços patrimoniais dos agentes altera-se a percepção por partes dos credores sobre a capacidade destes em honrar seus compromissos, levando-se em consideração fatores como o patrimônio líquido, fluxo de caixa, liquidez, garantias, entre outros. Isso pode levar a um aumento ou diminuição no spread de risco.

Neste trabalho, o foco foi analisar a transmissão da política monetária através dos canais de crédito: o Canal de Empréstimo Bancário e o Canal dos Balanços Patrimoniais.

3 CONCEITOS EM COMPLEXIDADE

Não há uma definição única e precisa do que se entende por Sistemas Complexos. De forma geral, são aqueles constituídos por componentes interligados em rede que, sem um controle centralizado e com regras simples de operações, fazem surgir comportamentos coletivos complexos, ao passo que se adaptam com o passar do tempo em um processo de aprendizado e evolução (MITCHELL, 2009). A complexidade surge do nível mais baixo do sistema, à medida que as interações e dependências entre esses componentes tornam-se importantes (PAGE; MILLER, 2007).

Para se ter uma noção mais abrangente de Sistemas Complexos, seria interessante descrever outros tipos de sistemas. Primeiramente, um sistema é dito simples se possui poucos graus de liberdade (componentes ou variáveis) e seu comportamento é preditível a partir das regras que regem o comportamento dos seus elementos constituintes. O pêndulo é um exemplo de sistema simples. Por outro lado, um sistema é dito complicado se possui muitos graus de liberdade, mas seu comportamento é o resultado do funcionamento das suas partes. Um avião é um exemplo de sistema complicado, pois possui milhares de peças (componentes) e seu funcionamento é exatamente aquele esperado, pois foi projetado. Esses sistemas não possuem flexibilidade para se adaptarem a eventuais mudanças do meio ou imprevistos. Por fim, os sistemas caóticos são aqueles que são sensíveis a condições iniciais, porém seguem regras determinísticas. Assim, a evolução é dada por regras e, em princípio, deveriam ser preditíveis, mas não são, pois não temos precisão suficiente para determinar as condições iniciais. Alguns autores classificam sistemas caóticos como subconjunto de sistemas complexos outros não.

Ao analisar sistemas complexos com a abordagem reducionista, decompondo-o em componentes menores, não é possível analisá-los separadamente, pois a interação e evolução dessas partes fazem emergir ao longo do tempo fenômenos que caracterizam o próprio sistema. Em contrapartida, a abordagem holística prega que o sistema deve ser analisado como um todo, e não pode ser interpretado somente analisando suas partes constituintes.

Em vez de incorporar padrões em seus modelos e diversos pressupostos no âmbito macro, a abordagem da complexidade realiza uma análise de baixo para cima (*bottom-up*), em que os efeitos e padrões macro emergem do âmbito micro. Em contrapartida, as variáveis macro também condicionam o comportamento e decisões do âmbito micro criando um efeito de

feedback, conforme Figura 2. Mas toda essa flexibilidade vem com um custo: o da formalização e rigor científico. A ciência da complexidade realiza um *trade-off* entre flexibilidade e precisão, ao passo que permite a inclusão de uma gama de processos maior, abrindo mão do formalismo encontrado em modelos matemáticos (PAGE; MULLER, 2007).

A modelagem de sistemas complexos permite implementar uma série de processos que não seriam possíveis de se fazer em modelos tradicionais, onde no último há maior rigor matemático, perdendo-se em flexibilidade. Esses processos são basicamente simples e podem modelar comportamentos dos agentes como, por exemplo, o processo decisório levando em consideração suas preferências e interações com outros agentes ao longo do tempo. Através das regras simples de interação podem emergir fenômenos complexos no sistema. De fato, o alicerce de sistemas complexos não se trata necessariamente de agentes e processos complexos, mas do fato de como a simplicidade pode gerar fenômenos complexos.

Figura 2 - Sistema Adaptativo Complexo. Fonte: Fryer e Ruis (2004). Representação da emergência de fenômenos no sistema que se dá através das interações entre os agentes do sistema. Esses fenômenos ou padrões que emergem também impactam na interação entre os agentes pelo processo de retroalimentação ou *feedback*. Um exemplo disso é a precificação dos contratos de crédito para o mercado de varejo, em que o índice de inadimplência na economia serve de *input* para os bancos calcularem o *spread* de risco.

Figura 3 - Rede livre de escala. Fonte: Newman e Girvan (2004). Em diversos sistemas uma topologia análoga à da Figura acima, pode emergir através da interação dos agentes ao longo do tempo, sem que haja um controle central.

Figura 4 - Distribuição em forma de lei de potência. Fonte: Gatti et al. (2009). A distribuição na forma de lei de potência da quantidade de *links* que os agentes de um sistema possuem pode ser resultado de um processo iterativo, que evolui ao longo do tempo, sem a presença de um controle centralizado.

Embora sejam difíceis de definir, sistemas complexos são identificáveis por um repertório de comportamentos que têm sido sistematicamente elencados nos últimos vinte anos. São sistemas que exibem um ou mais comportamentos da seguinte lista não exaustiva: emergência, transições de fase, universalidade, adaptabilidade, autorreferência, auto-organização, imprevisibilidade, padrões de interação com regularidades não triviais, causas múltiplas com efeitos não lineares, invariância em escala.

3.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA COMPLEXO

Emergência: Um fenômeno é emergente quando apenas aparece como resultado da interação dos constituintes do sistema. Mais ainda, a propriedade que emerge não é o resultado da soma das propriedades individuais, nem é previsível a partir das mesmas. Ela emerge como produto da interação coletiva. Em outras palavras, é uma propriedade de sistemas adaptativos complexos em que fenômenos e padrões surgem no âmbito macro como resultado das interações entre os agentes do sistema ao longo do tempo no âmbito micro (visão de baixo para cima, ou *bottom-up*), conforme ilustrado na Figura 1. Em uma rede de agentes conectados por relacionamentos de crédito, por exemplo, períodos de recessão podem emergir a partir da

deterioração e falência de alguns agentes que deixam de cumprir suas obrigações propagando o efeito para outros agentes do sistema causando uma avalanche de quebras. Ao longo do tempo, o efeito pode tomar proporções maiores através de um efeito cascata.

Transições de fase: Mudanças nas estatísticas de um sistema conforme mudam parâmetros de controle são denominadas transições de fase. Essas mudanças podem ser contínuas ou descontínuas. Assim, as propriedades coletivas (estatísticas) da água mudam abruptamente de acordo com a temperatura e pressão. As estatísticas de violência mudam de acordo com parâmetros controláveis via políticas públicas.

Universalidade: Detalhes do comportamento dos constituintes de um sistema complexo frequentemente não são importantes para o aspecto geral do comportamento agregado. As propriedades macroscópicas escalam com o tamanho do sistema de forma a não depender dos detalhes e são encontrados em diferentes sistemas, países ou mercados. Assim, por exemplo, a distribuição de tamanhos de firmas ou a distribuição de flutuações no mercado financeiro são universais e se verificam em todos os países. Essas flutuações dão origem aos chamados fatos estilizados ou regularidades estatísticas.

Adaptabilidade: A capacidade de modificar o próprio comportamento de acordo com mudanças no ambiente é característica comum em sistemas biológicos e socioeconômicos. Assim, firmas respondem a mudanças no mercado, regulando seu estoque e preço de forma adaptativa, visando à sua sobrevivência ou competitividade.

Autorreferência e retroalimentação: Sistemas complexos, em particular, sistemas socioeconômicos que respondem aos resultados de suas próprias ações. Assim, previsões econômicas podem produzir comportamentos que têm por consequência justamente a ocorrência dessas previsões. No caso da retroalimentação ou *feedback*, a informação gerada pelo sistema (agentes, interações entre agentes e ambiente) influencia sua própria evolução ao longo do tempo, ou seja, o sistema se retroalimenta, conforme ilustrado na Figura 2. Os padrões e fenômenos que emergem no âmbito macro também afetam o âmbito micro, no qual as decisões dos agentes podem ser influenciadas pelas variáveis observadas no macro.

Auto-organização: Interações locais produzem ordem em escala global. Ordem são padrões identificados na estrutura do sistema, que se forma independentemente de um comando central. Bandos contendo milhares de pássaros ou cardumes de peixes são exemplos mais notáveis de

auto-organização. A mão invisível de Adam Smith refere-se a uma metáfora de auto-organização ou autofuncionamento da economia.

Imprevisibilidade: Mesmo quando regido por equações inteiramente determinísticas o comportamento de um sistema complexo pode ser imprevisível. Exemplos clássicos são o clima e a dinâmica de populações. Claramente, o mesmo tipo de fenômeno surge em sistemas socioeconômicos, como bolhas e *crashes* no mercado.

Redes complexas: Sistemas complexos apresentam padrões de interação que não são nem inteiramente regulares (como as casas de um tabuleiro de xadrez) nem inteiramente irregulares (como seriam traços aleatórios). Em geral, auto-organizam-se redes de relações que parecem aleatórias localmente, mas são ordenadas globalmente, com alguns poucos nós muito conectados e a maioria com poucas conexões, com distâncias médias reduzidas e, portanto, capacidade de influência maior que o aparente. Exemplos de redes complexas são as relações sociais, os interesses acadêmicos, as cadeias alimentares, as rotas aéreas, cidades conectadas por estradas, *links* em *webpages*, entre outras. Sua topologia pode ser vista na Figura 3.

Causas múltiplas e efeitos não lineares: Em fenômenos socioeconômicos e biológicos as causas são, em geral, múltiplas e com interação entre si. Além disso, uma pequena variação em uma ou mais dentre as causas pode ocasionar uma grande mudança no efeito. As técnicas estatísticas usuais não são capazes de lidar corretamente com alguma destas características (frequentemente com ambas).

Invariância em escala: Padrões complexos podem ser obtidos pela aplicação repetida de regras simples em escalas diferentes (de tempo ou espaço). O exemplo clássico de invariância em escala são os galhos de árvores, os padrões de flocos de neve e os alvéolos pulmonares. Elas são comumente descritas por leis de potência ou processos fractais (ver Figura 4).

Sensibilidade às condições iniciais: Variações pequenas nas condições iniciais de um sistema como, por exemplo, a taxa básica de juros de uma economia, pode levar a grandes diferenças de comportamento no sistema. Assim como o nível de confiança de investidores externos com relação à conjuntura econômica, que pode gerar um efeito de desconfiança e fuga de investimentos caso esta confiança se altere minimamente.

De forma mais contundente, é necessário considerar a interação social como elemento central de qualquer sistema social. Aqui reside o maior desafio em se obter modelos capazes de capturar o mecanismo que governa o fenômeno. Além disso, a não linearidade, a

heterogeneidade, a racionalidade limitada e a assimetria informacional devem ser incorporadas nos modelos. A abordagem aqui adotada possui a capacidade de propor modelos com pressupostos mais realísticos.

3.2 MODELAGEM BASEADA EM AGENTES

Na história da ciência a utilização de modelos é comum e fundamental para estudar novas teorias e validar pressupostos levantados sobre diversos temas. Um modelo nada mais é que a simplificação da realidade, uma tentativa de extrair o que é mais importante, o que é fundamental para a dinâmica de dado sistema. Cada área do conhecimento tem tipos de simulações e modelos mais apropriados. As ciências naturais utilizam modelos matemáticos analíticos como suporte para entender o funcionamento de sistemas biológicos, físicos e químicos. O grande problema desta abordagem é que a inclusão de uma ou duas variáveis adicionais para melhorar o resultado gera a uma enorme complicação e frequentemente o problema se torna intratável.

Nas últimas décadas testemunhou-se um processo no qual a matemática analítica teve que dar espaço para o uso de computadores e seus modelos numéricos. No caso dos sistemas complexos, os modelos com equações diferenciais foram, talvez, os primeiros a ganhar popularidade para descrever dinâmicas não lineares com interações e adaptabilidade. Paralelamente a esses modelos vieram os modelos estatísticos, notadamente repletos de parâmetros que levam a uma demanda por processamento computacional. Por fim, a limitação das abordagens acima se deu pela dificuldade de se propor modelos capazes de capturar o mecanismo subjacente aos fenômenos estudados. A modelagem baseada em agentes veio como uma alternativa para modelagem e simulação principalmente para sistemas complexos onde as equações diferenciais e modelos estatísticos já não parecem ser adequados ou ficam muito complicados.

Modelos baseados em agentes (MBA) consistem de múltiplos agentes que interagem dentro de um ambiente. Eles são utilizados para simular fenômenos reais por meio da construção de entidades computacionais individuais, chamados agentes, com propriedades específicas ou comportamentos que são consequência de suas percepções sobre o ambiente e das ações dos demais agentes. Esses modelos podem descrever comportamentos coletivos mesmo quando a

interação é local. Assim, empregam-se agentes computacionais para compreender o impacto dos comportamentos individuais sobre os fenômenos coletivos nos casos em que não é possível compreendê-los de maneira dedutiva ou analítica. Esses agentes são colocados em um meio e lhes são permitidos que interajam entre si seguindo regras simples mas específicas, dadas pelo modelo. Os agentes são heterogêneos entre si, o que favorece o surgimento de fenômenos emergentes, consequência da interação entre eles. Além da heterogeneidade, a capacidade de adaptação, interação e racionalidade devem estar presentes. A partir desta definição sucinta, é possível extrair os componentes mais básicos de um MBA, ou seja, os agentes, as interações, e o ambiente, cujos conceitos são apresentados a seguir (SANTANA et al., 2014). A Figura 5 ilustra um exemplo de topologia de um MBA: um sistema composto por bancos que estão conectados através de relacionamentos de crédito.

Figura 5 - Rede dos maiores bancos internacionais. Fonte: Korowicz (2012). Representação dos agentes (esferas), das conexões entre os agentes (setas) e interdependências (sentido da seta) no sistema financeiro. Bancos europeus representados pelas esferas de cor vermelha, americanos pelas de cor azul e de outros países pelas de cor verde.

3.2.1 Agentes

Em um MBA para simulação social, os agentes são programas de computador usados para representar os atores sociais, por exemplo, indivíduos, famílias ou instituições (GILBERT,

2008). Com a crescente popularidade deste tipo de simulação, muitas discussões surgiram em torno das definições de agente, e como eles se diferenciam de programas de computador em geral. Franklin e Graesser (1997) propuseram que: “Um agente autônomo é um sistema situado dentro e de um ambiente que percebe, e age sobre ele, ao longo do tempo, em busca de sua própria identidade de modo a efetivar sua ação no futuro”.

Embora as propriedades dos agentes variem de acordo com aplicações específicas, a definição de Franklin e Graesser (1997) enfatiza as características do agente que foram convencionalmente identificadas como importantes: a autonomia, a competência social, reatividade e pró-atividade (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995). Primeiro, os agentes são autônomos, pois possuem comandos de controle separados, responsáveis por suas ações e cumprimento do seu papel (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995). As regras podem existir como restrição ambiental, não existe fluxo global, ou de controle externo ditar as ações do agente. A “auto-organização” dos agentes autônomos é o que promove o aparecimento de padrões globais (MACY; WILLER, 2002). Em segundo lugar, os agentes têm capacidade social e são capazes de interagir uns com os outros. Em terceiro lugar, os agentes são reativos e capazes de responder a estímulos provenientes do seu ambiente. Além disso, os agentes são proativos, o que significa que eles exibem um comportamento objetivo-dirigido por tomar sua própria iniciativa (WOOLDRIDGE; JENNINGS, 1995).

Quanto ao problema de conceituar e projetar agentes, Gilbert (2008) defende outro conjunto de propriedades que ele considera mais útil ter em mente durante este processo: a percepção, desempenho, memória e política. Agentes são capazes de perceber as características e dinâmica de seu ambiente, incluindo a presença de outros agentes nos arredores. Os agentes também são capazes de executar um conjunto de comportamentos, que muitas vezes inclui movimento (eles podem se mover dentro do ambiente), comunicação (que enviar e receber mensagens), e/ou de ação (que podem mudar o ambiente). Os agentes devem ter uma memória e poder gravar suas percepções e desempenhos passados. Finalmente, os agentes têm uma política, ou seja, “um conjunto de regras, heurísticas ou estratégias”, que estabelece o que eles vão fazer a seguir, ou até mesmo como eles aprendem e se adaptar (GILBERT, 2008).

3.2.2 Ambiente

Ambiente define o espaço no qual os agentes operam, servindo como um suporte para as suas ações. O significado e a função de um ambiente dependem do sistema que irá ser modelado. Em algumas situações, pode ser neutro, com um mínimo ou nenhum efeito sobre os agentes, ou, em analogia com o mundo real, o ambiente pode ter um papel ativo no fornecimento do contexto para os agentes para desempenhar as suas ações, para adquirir informação sobre o problema, e se comunicar uns com os outros (GILBERT, 2008). Neste último caso, o ambiente pode ser especificado como uma peça independente de software que possui os seus próprios papéis na MBA, incluindo características particulares e dinâmicas que influenciam diretamente o comportamento do agente e o surgimento de estruturas complexas (GILBERT, 2008). O ambiente pode ser implementado como agentes, mas de uma forma simplificada: O ambiente tem seus próprios atributos e um conjunto de regras para a mudança de seu estado, mas não precisa atingir metas ou realizar ações elaboradas como mover e enviar mensagens (GILBERT, 2008).

Dependendo do sistema que está a ser modelado, o ambiente pode ser mais adequadamente representado como um espaço geográfico, uma analogia ao espaço, ou uma rede (GILBERT, 2008). Ambientes como espaços geográficos são particularmente adequados para estudos que as distâncias métricas e a interação do ambiente com o agente são mais relevantes, e o outro tipo de aplicação, no qual o mais importante são as relações entre os agentes (por exemplo, transporte público), o meio ambiente pode ser representado como uma rede de ligações e nós (GILBERT, 2008).

3.2.3 Interações

O potencial dos agentes para interagir uns com os outros e no seu meio é a chave para a simulação das propriedades emergentes de sistemas complexos (GILBERT, 2008). Por esta razão, todos MBAs incluem algum tipo de interação que envolve a transmissão de conhecimentos ou de materiais que pode afetar o comportamento dos receptores (GILBERT, 2008). Em alguns casos, os agentes interagem simplesmente em perceber a presença de seus pares nas imediações, enquanto outras situações exigem interações baseadas no desenvolvimento e utilização de meios de comunicações complicadas (GILBERT, 2008; ZAMBONELLI, 2001).

Em geral, a MBA pode apresentar interações diretas agente-agente, interações indiretas agente-agente, e as interações agente-ambiente.

Interações entre agentes (agente-agente) têm geralmente uma correspondência ontológica de relações sociais que ocorrem no mundo real (GILBERT, 2008). Como no mundo real, essas interações podem ser diretas ou indiretas. Os agentes podem interagir diretamente uns com os outros, dando e recebendo recursos (por exemplo, dinheiro ou alimento), ou através da troca de informações por meio de mensagens (GILBERT; TROITZSCH, 1999; Gilbert, 2008). Os agentes podem indiretamente interagir com os outros, observando-os, copiar seu comportamento, ou até mesmo evitá-los (GILBERT, 2008). Uma forma simples de interação indireta (agente-agente) se dá quando os agentes tomam decisão com base em valores agregados (soma das decisões individuais) como acontece no chamado Jogo da Minoria (CHALLET, 1997; FERREIRA, 2005; CREPALDI et al., 2012).

Interações entre os agentes e o ambiente também desempenham um papel vital em modelos multiagentes. A mudança das propriedades ambientais pode afetar a dinâmica e o comportamento dos agentes no médio e longo prazo. Por outro lado, as decisões dos agentes podem alterar o meio em que eles se inserem. A mudança da paisagem ou alterações químicas no solo, no ar e na água, por exemplo, afetam o estado do agente, gerando custos e causando danos. Assim, a alteração provocada pelos agentes tem impactos sobre os próprios agentes. Essas interações agente-ambiente são, muitas vezes, utilizadas para mediar interações indiretas entre os agentes, uma vez que os agentes são capazes de detectar os impactos da ação de outro agente em seu ambiente compartilhado e agir em resposta a ele (GILBERT, 2008). Interações dos agentes que envolvem o meio ambiente são tipicamente “local”, com agentes tendo apenas uma limitada esfera de influência por meio do qual eles podem sentir e alterar o ambiente (RUSSELL; NORVIG, 2003).

3.3 SISTEMAS COMPLEXOS E REDES BASEADAS EM RELACIONAMENTOS DE CRÉDITO NA LITERATURA

Na literatura existem diversos trabalhos em que sistemas foram criados utilizando modelagem baseada em agentes para implementar redes baseadas em relacionamentos de crédito

para se analisar diferentes problemas. O trabalho de Lenzu e Tedeschi (2012), por exemplo, procurou analisar como as diferentes topologias de rede o mercado interbancário influenciam na estabilidade de um sistema, tornando-o mais ou menos resiliente, e como isso afeta no risco sistêmico. Constatou-se que em redes livres de escala, com a formação de agrupamentos, ou *hubs*, não houve uma realocação de risco eficiente dado que muitas dessas comunidades ficaram isoladas. Além disso, segundo os autores, essa topologia de rede criou condições mais favoráveis a efeitos de quebra em cascata do que uma rede randômica.

Outros trabalhos como os de Gatti et al. (2009) e Tedeschi et al. (2012) analisaram a relação entre ciclos econômicos e avalanches de quebras, e como as interconexões evoluem endogenamente entre agentes heterogêneos que se relacionam através de relacionamentos de crédito podem afetar a estabilidade do sistema. O trabalho de Gatti et al. (2009) analisou como uma deterioração em um sistema e uma avalanche de quebras em um efeito cascata podem emergir através de uma rede interconectada através de relacionamentos de crédito, e cuja topologia evolui endogenamente através de um processo definido pelos autores chamado de escolha do parceiro preferido. O trabalho de Tedeschi et al. (2012), por sua vez, contribuiu com a implementação de um mercado interbancário e procurou analisar como ele influencia na emergência de ciclos econômicos e quebras de bancos. A análise realizada por Tedeschi et al. (2012) constatou que no modelo implementado pelos autores a heterogeneidade tem um importante papel no risco sistêmico e na criação de condições para a emergência de efeito de quebras em cascata: quanto maior a heterogeneidade, maior a instabilidade no sistema e maior a probabilidade para uma avalanche de eventos de inadimplência. Além disso, os autores implementaram a regra de compulsório, percentual que um banco deve manter no Banco Central e constataram que, quanto maior for a restrição na capacidade dos bancos em conceder crédito, menor será a probabilidade de ocorrência de avalanches.

Portanto, baseado nos argumentos dos trabalhos citados acima, é importante notar que a topologia de uma rede, heterogeneidade e restrição em relação à capacidade produtiva de uma economia, podem influenciar no risco sistêmico, na resiliência do sistema à choques econômicos e na criação de condições favoráveis para a ocorrência de avalanches de quebras ou efeito cascata.

4 MODELO BASE

O trabalho realizado por Gatti et al. (2009) propôs analisar como flutuações no mercado podem levar à emergência de períodos de recessão através da propagação de quebras e de um processo endógeno de interações entre agentes de diferentes setores de uma economia conectados por relacionamentos de crédito. Foi utilizado um modelo baseado em agentes, em que se implementou uma economia caracterizada por relações de crédito entre firmas em uma cadeia produtiva (compra de insumos), também considerado como um relacionamento de crédito, e por uma relação entre firmas e bancos, como um empréstimo bancário.

O sistema é definido por uma rede composta de agentes conectados através de relacionamentos de crédito, conforme Figura 6, em que agentes são representados pelos vértices e os relacionamentos de crédito, pelas arestas. Essa rede é constituída por três setores distintos: I firmas de bens finais (*Downstream*), J firmas de bens intermediários (*Upstream*) e Z bancos. Os agentes desses três setores distintos interagem entre si através dos relacionamentos de crédito. Nesta seção, discutiremos o trabalho realizado por Gatti et al. (2009), que modelou um sistema baseado em relacionamento de créditos entre diferentes setores de uma economia, com a finalidade de analisar a evolução da rede, bem como flutuações no mercado, que podem levar à emergência de períodos de recessão.

Figura 6 - Topologia de rede de um sistema interconectado pelas relações de crédito. Fonte: Adaptado de Gatti et al.

(2009). Firms *Downstreams* são representadas por D_i , em que $i \in I$, firms *Upstreams* por U_j , em que $j \in J$ e

Bancos por B_z , em que $z \in Z$.

As arestas, que definem o relacionamento de crédito, podem ser divididas em dois tipos de relação:

- Cadeia produtiva – Uma firma *Downstream* “toma” insumos com uma empresa *Upstream*. Esse relacionamento é considerado como uma relação de crédito, pois a firma *Downstream* obtém o recurso e paga a *Upstream* posteriormente o valor do insumo mais juros. Nessa simulação, cada “contrato” tem duração de um período. Uma firma *Downstream* pode obter recursos com apenas uma firma *Upstream*. A última pode conceder recursos a mais de uma firma *Downstream*.
- Crédito bancário – Uma firma (*Downstream* ou *Upstream*) toma recursos com os bancos e o pagamento é realizado posteriormente – assim como a relação na cadeia produtiva, o pagamento é realizado no período seguinte. Uma firma só pode obter recursos com um banco, ao passo que um banco pode conceder recursos a mais de uma firma.

Os agentes escolhem seus parceiros através de um processo chamado de escolha do parceiro preferido, definido no trabalho de Gatti et al. (2009). Para definir os relacionamentos de crédito entre firmas *Downstream* e *Upstream*, e entre firmas e bancos, são aplicadas as seguintes regras:

- com uma pequena probabilidade ϵ , o agente tomador escolhe um agente doador (de crédito ou insumos) de forma aleatória;
- com probabilidade $(1 - \epsilon)$, o agente seleciona a melhor taxa oferecidas por um número P de agentes doadores escolhidos aleatoriamente:
 - se um desses agentes oferecer uma taxa menor que a do parceiro anterior, troca-se de parceiro;
 - caso contrário, mantém-se o mesmo parceiro.

Para facilitar a implementação da simulação, o fluxo de cada agente do modelo foi separado em três partes: Orçamento, Operação e Resultado.

Em cada rodada, na Etapa de Orçamento, as firmas *Downstream* tomam a decisão de quanto produzir com base em sua capacidade produtiva, que depende diretamente de seu patrimônio líquido. Em seguida, as firmas realizam um orçamento dos custos de produção, levantando a necessidade de mão de obra e de insumos. Nesse momento, a firma *Downstream* realiza a escolha da firma *Upstream* que proverá os bens intermediários para a produção dos bens finais.

Os insumos são obtidos através de um contrato de crédito e os custos de mão de obra são pagos utilizando patrimônio líquido. A firma precisa verificar se possui patrimônio líquido suficiente para os custos de mão de obra. Se possuir, ela é considerada autossuficiente e não precisa recorrer a empréstimos. Caso contrário, precisará tomar recursos com um banco: a firma realiza a escolha do banco que proverá o crédito e o orçamento do valor suficiente para cobrir os custos de mão de obra.

Na Etapa de Operação, a firma *Downstream* calcula a receita das vendas realizadas, com base na sua capacidade produtiva e no preço de mercado do bem final produzido. Em seguida, calcula o custo da mão de obra, o custo do contrato de crédito realizado na cadeia produtiva realizado para obter insumos, e o custo do contrato de crédito de empréstimo bancário, se houver.

Por fim, na Etapa de Resultado, verifica-se se a firma possui condições suficientes para honrar com os contratos de crédito, ou seja, se o patrimônio líquido, unido às receitas, cobre os custos de mão de obra e os custos dos contratos de crédito. Caso a firma não tenha condições de honrar os contratos, a firma *I* quebra e não paga o credor nem o fornecedor do insumo. Em seguida, a firma sai do mercado e é substituída por outra. Caso contrário, a firma honra com suas obrigações com o banco e firma *Upstream* e aufere os lucros/prejuízos na atualização do patrimônio líquido para o período seguinte ($t + 1$). Esse fluxo está ilustrado na Figura 7, a seguir⁸.

⁸ Para informações sobre as fórmulas de cada etapa do processo da firma *Downstream*, ver no Capítulo 9 o item Anexos no item [Fórmulas do Fluxo da Firma *Downstream*](#).

Figura 7 - Fluxo de interação das firmas *Downstream*. Fonte: elaborado pelo autor. Os processos desse agente podem ser divididos em três etapas: Orçamento, Operação e Resultado.

O fluxo das firmas *Upstream* inicia na Etapa de Orçamento quando elas são demandadas para suprirem insumos para as firmas *Downstream*. Após verificarem quanto de insumos foi demandado, necessitam realizar o orçamento de seus custos de produção, basicamente o custo de mão de obra. Da mesma forma que a *Downstream*, a firma *Upstream* precisará tomar recursos com um banco, caso seu patrimônio líquido não seja o suficiente.

Na Etapa de Operação, a firma *Upstream* calcula sua receita, baseada nos pagamentos dos insumos, realizados pelas firmas *Downstream*. Em seguida, a firma calcula o custo de mão de obra, os prejuízos com inadimplência e o custo do contrato de crédito.

Por fim, na Etapa de Resultado, verifica-se se a firma possui condições suficientes para honrar com os contratos de crédito de empréstimo bancário, ou seja, se o patrimônio líquido, unido às receitas, descontando-se o custo de mão de obra e prejuízos com inadimplência, é suficiente para cobrir o custo do contrato de crédito. Caso a firma não tenha condições de honrar o contrato, a firma *J* quebra e não paga o credor. Logo em seguida, a firma sai do mercado e é substituída por outra. Caso contrário, a firma honra com suas obrigações com o banco e auferes os

lucros/prejuízos na atualização do patrimônio líquido para o período seguinte ($t + 1$). Esse fluxo está ilustrado na Figura 8, a seguir⁹.

Figura 8 - Fluxo de interação das firmas *Upstream*. Fonte: elaborado pelo autor. Os processos desse agente podem ser divididos em três etapas: Orçamento, Operação e Resultado.

O fluxo dos bancos é mais simplificado, pois ele atua somente como credor e não tem nenhuma atividade produtiva. Na Etapa de Orçamento, o banco é demandado por linhas de crédito de um período. Ele calcula a taxa de juros baseado na qualidade dos tomadores – o patrimônio líquido foi utilizado como *proxy* para verificar a capacidade de a firma honrar suas obrigações – e baseado na condição de seu patrimônio líquido de ofertar a melhor taxa de juros.

Na Etapa de Operação, o banco calcula suas receitas a partir dos juros recebidos pelos contratos de crédito firmados com as firmas e calcula os prejuízos dos eventos de inadimplência, se houver, decorrentes da incapacidade de algumas firmas de honrarem suas obrigações.

Na Etapa de Resultado, o banco verifica se o patrimônio líquido, unido às receitas, é suficiente para cobrir os prejuízos dos eventos de inadimplências nos contratos de crédito (*bad debts*). Caso o banco não tenha condições de arcar com os prejuízos, ele quebra e é substituído

⁹ Para informações sobre as fórmulas de cada etapa do processo da firma *Upstream*, ver no Capítulo 9 o item Anexos no item Fórmulas do Fluxo da Firma *Upstream*.

por outro banco. Caso contrário, o banco calcula o resultado e auferir os lucros/prejuízos na atualização do patrimônio líquido para o período seguinte ($t + 1$). Este fluxo está ilustrado na Figura 9, a seguir¹⁰.

Figura 9 - Fluxo de interação dos bancos. Fonte: elaborado pelo autor. Os processos desse agente podem ser divididos em três etapas: Orçamento, Operação e Resultado.

A simulação é realizada por t períodos, e a estrutura da rede resulta na topologia ilustrada na Figura 10. Observa-se que um padrão emerge no sistema, no qual o grau de distribuição dos *links* entre bancos e firmas segue uma lei de potência, conforme Figura 11. Poucos bancos estão conectados a muitas firmas e muitos bancos estão conectados a poucas firmas.

¹⁰ Para informações sobre as fórmulas de cada etapa do processo do banco, ver no Capítulo 9 o item Anexos no item [Fórmulas do Fluxo do Banco](#).

Figura 10 - Estrutura da rede: bancos e firmas. Fonte: Gatti et al. (2009).

Figura 11 - Grau de distribuição da rede: firmas (*Upstream* e *Downstream*) x bancos. Fonte: Gatti et al. (2009).

Além do surgimento de um padrão na topologia da rede, observa-se um efeito endógeno de quebras em cadeia, ou "avalanches" de eventos de inadimplência. A Figura 12 ilustra esse processo: a firma D_6 pode quebrar em um determinado período t e esta não honra com seus compromissos com a firma U_2 e com o banco B_1 . Apesar do prejuízo com a inadimplência, ou *bad debt*, as firmas U_2 e B_1 não quebram, mas, ao possuírem uma condição financeira deteriorada, "repassam" essa condição para outros agentes através das taxas cobradas nos relacionamentos de crédito. Os agentes D_4 e D_7 podem sofrer uma quebra no instante seguinte,

impactando novamente os agentes B_1 e U_2 , que acabam quebrando no período seguinte. Pode-se verificar esse fenômeno na Figura 13, na qual os picos de inadimplência são resultados da deterioração repercutida no sistema através dos relacionamentos de crédito.

Figura 12 - Quebra em cadeia na rede. Fonte: Gatti et al. (2009).

Figura 13 - Evolução das inadimplências agregadas. Fonte: Gatti et al. (2009).

Na Figura 14, no Painel (a) estão plotadas as incidências de eventos extremos do modelo, contabilizados quando o valor financeiro da inadimplência, ou *bad debt*, é superior a 2σ . É possível observar a formação de agrupamentos na incidência de eventos extremos indicando uma deterioração no sistema e um efeito dominó de sucessivas quebras dos agentes em sequência. Diferentemente, no Painel (b), observa-se uma distribuição desses eventos sem a incidência de agrupamentos, indicando que não há dependência entre eles.

Figura 14 – Incidência de eventos extremos ao longo da simulação, do período 1 ao 1000, onde a variável nz contabiliza as ocorrências desses eventos. Fonte: Gatti et al. (2009). Os painéis acima mostram a incidência de eventos extremos contabilizados quando o valor da inadimplência, ou *bad debt*, é superior a 2σ . Painel (a) mostra a incidência de eventos extremos do modelo implementado no trabalho de Gatti et al. (2009), que apresenta a formação de agrupamentos evidenciado o efeito dominó de quebras sucessivas. E no Painel (b) mostra a incidência de eventos extremos gerados a partir de um modelo estocástico, indicando que os eventos são independentes.

Figura 15 – Distribuição do patrimônio líquido das firmas *Downstream*. Fonte: Gatti et al. (2009).

Figura 16 – Probabilidade de ocorrência de eventos extremos. Fonte: Gatti et al. (2009).

5 EXTENSÃO DO MODELO

5.1 INCLUSÃO DE UMA REDE INTERBANCÁRIA DE CRÉDITO

A partir do modelo de Gatti et al. (2009) foi implementado um mercado interbancário, isto é, um novo canal no modelo em que um banco deficitário pode obter crédito de um banco superavitário. Um banco Z é definido como superavitário quando possui $A_Z > B_Z$, ou seja, o banco Z possui patrimônio líquido maior que o total de empréstimos esperado. Caso contrário, se $A_Z < B_Z$, então o banco é deficitário. Nesse último caso, o banco necessita obter crédito de outros bancos no mercado interbancário.

O relacionamento de crédito entre bancos pode ser representado pela topologia da Figura 17, em que a seta indica a direção na qual uma relação de crédito ocorre de um agente deficitário para um agente superavitário.

Figura 17 - Implementação da rede interbancária a partir do modelo de Gatti et al. (2009).

Bancos são representados por B_Z , em que $z \in Z$. Fonte: adaptado de Gatti et al. (2009).

As regras na interação entre bancos na concessão de crédito serão baseadas nas mesmas regras ocorridas na interação entre bancos e firmas, em que a taxa cobrada é calculada baseando-se no *proxy* de qualidade dos tomadores e dos próprios agentes credores.

Da mesma forma que a regra da escolha do parceiro preferido é utilizada para definir os relacionamentos de crédito entre firmas *Downstream* e *Upstream* e entre firmas e bancos, a regra

é utilizada também para a escolha dos relacionamentos entre um banco superavitário e um banco deficitário:

- com uma pequena probabilidade v – o agente tomador escolhe um agente doador de forma randômica;
- com probabilidade $(1 - v)$, o agente seleciona a melhor taxa oferecidas por um número Q agentes doadores escolhidos aleatoriamente:
 - se um desses agentes oferecer uma taxa menor que a do parceiro anterior, troca-se de parceiro;
 - caso contrário, mantém-se o mesmo parceiro.

No novo fluxo do banco, ao se introduzir um mercado interbancário, introduziu-se também atividades adicionais. Na Etapa de Orçamento, após verificar a quantidade de crédito demandada, o banco observa se possui patrimônio líquido suficiente para suprir a demanda por crédito. Caso não possua, o banco obtém crédito com outro banco no mercado interbancário.

Na Etapa de Operação, o banco calcula sua receita baseado nos pagamentos dos empréstimos concedidos, tanto para firmas quanto para outros bancos e, em seguida, calcula os prejuízos decorrentes das inadimplências nos contratos de crédito, se houver.

Por fim, na Etapa de Resultado, o banco verifica se o patrimônio líquido, somado às receitas e descontando-se os prejuízos das inadimplências, é suficiente para cobrir o custo do contrato de crédito no mercado interbancário. Caso consiga honrar com suas obrigações, o banco calcula o resultado e sensibiliza o patrimônio líquido para o período seguinte. Caso contrário, o banco quebra, não realiza o pagamento ao credor e sai do mercado. O mesmo é substituído por outro banco no período seguinte. Este fluxo está ilustrado na Figura 18, a seguir¹¹.

¹¹ Para informações sobre as fórmulas de cada etapa do processo do banco com a implementação do mercado interbancário, ver no Capítulo 9 o item Anexos no item [Fórmulas do Fluxo Estendido do Banco](#).

Figura 18 - Fluxo estendido dos bancos, considerando o mercado interbancário. Fonte: elaborado pelo autor. No fluxo estendido, na Etapa de Orçamento, os bancos buscam crédito no mercado interbancário caso não possuam patrimônio líquido suficiente para fornecer crédito para as firmas. Na Etapa de Operação, além do prejuízo com a inadimplência, calcula-se o custo do contrato de crédito no mercado interbancário. E na Etapa de Resultado, o banco paga o credor caso tenha condições de honrar o contrato de crédito. Caso contrário, ele quebra e sai do mercado.

5.2 INCLUSÃO DE UMA TAXA BÁSICA NA ECONOMIA

Para analisar o impacto da política monetária nos relacionamentos de crédito no modelo criou-se uma taxa básica de juros na economia, exógena ao sistema, que afeta a precificação dos contratos de crédito no mercado interbancário que, por sua vez, impacta nos demais contratos de crédito.

Em cada relacionamento de crédito entre bancos existe uma taxa r_{ZC}^{ZD} , resultante de uma função:

$$r_{ZC}^{ZD} = f_{RZZ}(A_{ZC}, A_{ZD}, B_{ZD}) = \sigma A_{ZC}^{-\sigma} + \theta (l_{ZD})^{\theta} \quad (3)$$

em que A_{ZC} é o patrimônio líquido do banco credor Z , A_{ZD} é o patrimônio líquido do banco tomador do crédito, B_{ZD} é a necessidade de crédito do banco tomador, l_{ZD} é a alavancagem do agente tomador calculada a partir dos valores de A_{ZD} e B_{ZD} , e σ e θ são parâmetros do modelo. A

taxa de juros cobrada também pode ser considerada como o *spread* de risco da operação, calculada a partir da percepção de risco que utiliza como *proxy* o patrimônio líquido do agente tomador.

Com a implementação da taxa básica de juros, a taxa do contrato do mercado interbancário passa a ser calculada da seguinte maneira:

$$\hat{r}_{ZC}^{ZD} = f'_{RZZ}(A_{ZC}, A_{ZD}, B_{ZD}, r_f) \quad (4)$$

que recebe como parâmetro a taxa básica de juros (r_f), que também pode ser reescrita como:

$$\hat{r}_{ZC}^{ZD} = r_f + f_{RZZ}(A_{ZC}, A_{ZD}, B_{ZD}) \text{ ou } r_f + r_{ZC}^{ZD} \quad (5)$$

5.3 INCLUSÃO DE UMA TAXA DE REFERÊNCIA PARA OS CONTRATOS DE CRÉDITO NA ECONOMIA

A partir dos contratos de crédito no mercado interbancário, criou-se uma taxa de referência r_i , calculada a partir da taxa média ponderada desses contratos. Nos relacionamentos de crédito, tanto no empréstimo bancário quanto na cadeia produtiva, a taxa de referência r_i passa a ser utilizada na função de precificação para calcular a taxa a ser cobrada no período seguinte ($t + 1$), conforme descrito no item seguinte sobre a composição da taxa de juros.

5.4 COMPOSIÇÃO DA TAXA DE JUROS

Em cada relacionamento de crédito entre bancos e firmas existe uma taxa r_z^x , resultante de uma função:

$$r_z^x = f_{RZX}(A_Z, A_X, B_X) = \sigma A_Z^{-\sigma} + \theta (l_x)^\theta \quad (6)$$

em que A_Z é o patrimônio líquido de um banco Z , A_X é o patrimônio líquido do agente tomador X , B_X é a necessidade de crédito do agente tomador X a partir do *proxy* de qualidade dos agentes envolvidos na negociação, l_x é a alavancagem do agente X calculada a partir dos valores de A_Z e B_X , e σ e θ são parâmetros do modelo. Essa taxa de juros cobrada também pode ser considerada como o *spread* de risco da operação, calculada a partir da percepção de risco que utiliza como *proxy* o patrimônio líquido do agente tomador.

Ao implementar a taxa de referência de juros r_i na economia desse sistema, a taxa cobrada no contrato de crédito deverá ser resultado de uma função:

$$\hat{r}_z^x = f_{R_{zx}}'(A_z, A_x, B_x, r_{i(t-1)}) \quad (7)$$

que também pode ser reescrita como:

$$\hat{r}_z^x = r_{i(t-1)} + f_{R_{zx}}(A_z, A_x, B_x) \text{ ou } r_{i(t-1)} + r_z^x \quad (8)$$

Nos relacionamentos de crédito entre firmas *Upstream* e *Downstream*, existe uma taxa r_j , resultado de uma função:

$$r_j = f_{R_j}(A_j) = \alpha A_j^{-\alpha} \quad (9)$$

em que A_j é o patrimônio líquido da firma j e α é parâmetro do modelo. Ao implementar a taxa de referência de juros r_i na economia desse sistema, a taxa cobrada no contrato de crédito deverá ser resultado de uma função:

$$\hat{r}_j = f_{R_j}'(A_j, r_{i(t-1)}) \quad (10)$$

que também pode ser reescrita como:

$$\hat{r}_j = r_{i(t-1)} + f_{R_j}(A_j, r_{i(t-1)}) \text{ ou } r_{i(t-1)} + r_j \quad (11)$$

5.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA POLÍTICA MONETÁRIA

Para implementar um mecanismo de transmissão da política monetária, a taxa de juros cobrada no mercado interbancário deverá ser resultado de uma nova função:

$$\hat{r}_{ZC}^{ZD'} = f_{R_{ZZ}}''(A_{ZC}, A_{ZD}, B_{ZD}, r_f, \Delta r_{meta}) \quad (12)$$

que recebe como parâmetro a variação da taxa meta (Δr_{meta}), que também pode ser reescrita como:

$$\hat{r}_{ZC}^{ZD'} = r_f + \Delta r_{meta} + f'_{R_{ZZ}}(A_{ZC}, A_{ZD}, B_{ZD}, r_f) \text{ ou } r_f + \Delta r_{meta} + \hat{r}_{ZC}^{ZD} \quad (13)$$

A política monetária será expansionista quando $\Delta r_{meta} < 0$, e restritiva quando $\Delta r_{meta} > 0$. Ao alterar a taxa básica de juros, a precificação do contrato de crédito no mercado interbancário também é afetada. O efeito é propagado na taxa de referência de juros r_i e, conseqüentemente, impacta em $t + 1$ nas taxas dos contratos de empréstimo bancário $\hat{r}_z^x$ e nas taxas dos contratos na

cadeia produtiva $\hat{r}_j$. Caso seja implementada uma política monetária expansionista, o impacto no mercado de crédito será conforme descrito na equação a seguir:

$$M \uparrow \Rightarrow \Delta r_{meta} \downarrow \Rightarrow r_f \downarrow \Rightarrow r_i \downarrow \xRightarrow{t+1} \hat{r}_z^x \downarrow, \hat{r}_j \downarrow \Rightarrow A \uparrow \quad (14)$$

em que M representa a política monetária e o sentido da flecha ($\uparrow$) significa uma política monetária expansionista. Δr_{meta} é alteração da taxa meta definida pela política monetária, r_f é a taxa básica de juros, r_i é a taxa de referência para outros contratos de crédito, $\hat{r}_z^x$ é a taxa de juros nos contratos de empréstimo bancário, $\hat{r}_j$ é a taxa de juros nos contratos de crédito da cadeia produtiva, e A é o patrimônio líquido dos agentes em geral.

Caso seja implementada uma política monetária expansionista, o impacto no mercado de crédito será conforme descrito na equação a seguir:

$$M \downarrow \Rightarrow \Delta r_{meta} \uparrow \Rightarrow r_f \uparrow \Rightarrow r_i \uparrow \xRightarrow{t+1} \hat{r}_z^x \uparrow, \hat{r}_j \uparrow \Rightarrow A \downarrow \quad (15)$$

em que M representa a política monetária e o sentido da flecha ($\downarrow$) significa uma política monetária restritiva.

5.6 PREMISSAS

Assume-se que tudo o que as firmas *Downstream* produzem é vendido a um preço de mercado u_t , em que t é o período da simulação e u assume um valor entre zero e dois, com probabilidade uniforme. As firmas são consideradas como tomadoras de preço, ou seja, nenhuma delas é suficientemente grande para influenciar o mercado, e vendem sua produção no preço de equilíbrio u_t .

Todas as firmas e bancos que “quebram” são substituídos por outros imediatamente, mantendo a quantidade de agentes estável na rede. O patrimônio líquido das novas firmas e bancos que entram no mercado com um patrimônio líquido é definido por uma distribuição com probabilidade constante no intervalo de 0 a 2.

A decisão de aceitar a oferta de quem está cedendo recursos é sempre do tomador, ou seja, o credor e o fornecedor nunca negam recursos. Os bancos decidem quanto cobrar das firmas,

baseando-se em um *proxy* de qualidade, definido pelo patrimônio líquido. Quanto maior a alavancagem da firma tomadora, maior o juro cobrado, calculado através da razão Necessidade Financiamento/Patrimônio Líquido.

Firmas *Upstream*, por sua vez, não baseiam sua decisão de quanto cobrar das firmas *Downstream* baseadas no *proxy* de qualidade. Segundo Gatti et al. (2009), a estratégia das firmas é ceder recursos ao menor preço, levando em consideração seu patrimônio líquido, como uma estratégia competitiva. Dessa forma, a firma garante um maior número de relações, aumentando seu patrimônio líquido e, conseqüentemente, sua capacidade de conceder insumos a uma taxa menor ainda.

Para a implementação da rede interbancária e dos relacionamentos entre bancos, por questões de simplificação, utilizou-se as mesmas regras de interação e precificação definidos nos relacionamentos de crédito entre bancos e firmas.

A taxa básica de juros será dada no modelo e será uma variável exógena. Para a implementação da política monetária, assume-se que, ao variar a taxa meta de juros (Δr_{meta}), varia-se a taxa básica de juros na economia na mesma intensidade, ou seja, soma-se à taxa básica de juros a variação da taxa meta de juros.

Com relação ao Banco Central, este não atua de forma dinâmica no modelo deste trabalho. Para cada simulação será definida uma variação da taxa meta de juros.

6 RESULTADOS

6.1 REPRODUÇÃO DOS RESULTADOS DE GATTI ET AL. (2009)

Para reproduzir o modelo de Gatti et al. (2009) foram utilizadas as mesmas características do modelo. Foram definidas 500 firmas *Downstream*, 250 firmas *Upstream* e 100 bancos, que interagem por 1000 períodos. No período 1, todos os agentes possuem patrimônio líquido igual a 1. Quando um agente vai à falência, o mesmo é imediatamente substituído por outro com um valor de patrimônio líquido definido por uma distribuição com probabilidade constante no intervalo de 0 a 2. Os valores dos parâmetros utilizados foram os mesmos de Gatti et al. (2009)¹². Nas próximas Figuras, comparou-se os resultados do artigo de Gatti et al. (2009) com os obtidos neste trabalho.

Na Figura 19, compara-se os resultados da evolução da produção agregada das firmas *Downstream* do artigo de Gatti et al. (2009) no Painel (a) com os deste trabalho, Painel (b). Observa-se que ao longo da simulação ocorrem oscilações na capacidade produtiva das firmas *Downstream*. Essas oscilações são causadas na geração randômica dos preços dos bens finais e a intensidade delas pode ser resultado da propagação desses choques no sistema de modo que os efeitos no âmbito macroeconômicos podem gerar períodos de recessão.

Figura 19 – Produção agregada das firmas *Downstream*. Painel (a): produção agregada das firmas *Downstream*. Fonte: Gatti et al. (2009). Painel (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a demanda agregada e, no eixo X, o período.

¹² Os valores dos parâmetros utilizados foram os mesmos de Gatti et al. (2009): $\phi = 1.2$, $\beta = 0.8$, $\delta_D = 0.5$, $\delta_u = 1$, $\gamma = 0.5$, $\alpha = 0.1$, $\sigma = 0.1$, $\theta = 0.05$, $w = 1$, $M = 5$, $N = 5$, $\varepsilon = 0.01$.

Nas Figuras 20 e 21 compara-se o grau de distribuição dos *links* entre agentes *Upstream* e *Downstream* no modelo. Tanto no trabalho de Gatti et al. (2009), ilustrados no Painel (a), quanto nos resultados deste trabalho, Painel (b), observa-se que o grau de distribuição da topologia de rede, a partir da regra da escolha do parceiro preferido, evoluiu para uma distribuição em lei de potência.

Figura 20 – Grau de distribuição da rede: *Downstream versus Upstream*. Painel (a): grau de distribuição da rede: *Downstream versus Upstream*. Fonte: Gatti et al. (2009). Painel (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a posição relativa de uma firma *Upstream* em relação à quantidade de *links* que possui com firmas *Downstream* em uma relação de crédito na cadeia produtiva e, no eixo X, a quantidade de *links*.

Figura 21 – Grau de distribuição da rede: firmas *versus* bancos. Painel (a): grau de distribuição da rede: firmas *versus* bancos. Fonte: Gatti et al. (2009). Painel (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a posição relativa de um banco em relação à quantidade de *links* que possui com firmas em uma relação de crédito de empréstimo bancário e, no eixo X, a quantidade de *links*.

Na Figura 22 está ilustrada a evolução do valor financeiro da inadimplência, ou *bad debt*, das firmas nos relacionamentos de crédito na cadeia produtiva e no empréstimo bancário. Nos resultados deste trabalho no Painei (b), observa-se que a média e pico do *bad debt* foram maiores. A diferença pode ser resultado de diferenças na implementação. Apesar disso, os resultados são consistentes com as conclusões observadas por Gatti et al. (2009), em que a incidência eventos extremos ocorrem próximas umas das outras, indicando a emergência de períodos de recessão em decorrência de uma deterioração do sistema. No Painei (b), observa-se que antes do pico por volta do período 200 há a incidência de altos valores de inadimplência.

Figura 22 – Prejuízo agregado em decorrência das inadimplências das firmas. Painei (a): valor financeiro gerado pela inadimplência agregada das firmas. Fonte: Gatti et al. (2009). Painei (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado valor financeiro da inadimplência agregada e, no eixo X, o período.

Nas Figuras 23 e 24 observa-se que ambos os resultados demonstram que o *log* do crescimento das firmas e da distribuição do prejuízo decorrentes das inadimplências, que evolui para uma distribuição em lei de potência.

Figura 23 – Distribuição do patrimônio líquido das firmas *Upstream* e *Downstream*. Painei (a): distribuição do patrimônio líquido das firmas *Upstream* e *Downstream*. Fonte: Gatti et al. (2009). Painei (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a posição relativa de uma firma em relação ao tamanho de seu patrimônio líquido e, no eixo X, o valor do patrimônio líquido.

Figura 24 – Distribuição do *bad debt* das firmas *Upstream* e *Downstream*. Painei (a): distribuição do *bad debt* das firmas *Upstream* e *Downstream*. Fonte: Gatti et al. (2009). Painei (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a posição relativa do valor financeiro de um evento de inadimplência ou *bad debt* em relação a outros eventos e, no eixo X, o valor financeiro da inadimplência.

Na Figura 25 observa-se que o *log (rank)* da distribuição da taxa de crescimento do Painei (a) não segue uma distribuição normal, assim como no Painei (a), corroborando com a justificativa de que não se pode assumir que certos resultados seguem uma distribuição normal.

Figura 25 – Taxa de crescimento das firmas *Upstream* e *Downstream*. Painel (a): taxa de crescimento das firmas *Upstream* e *Downstream*. Fonte: Gatti et al. (2009). Painel (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a posição relativa da taxa de crescimento de uma firma de um período para o outro em relação às demais firmas e, no eixo X, a taxa de crescimento.

Na Figura 26, tanto no Painel (a) quanto no Painel (b) observa-se que há uma clusterização, ou agrupamento de eventos extremos, indicando a existência de dependência entre os resultados. Em um processo randômico, assume-se a independência dos resultados e a incidência de eventos extremos ocorre de maneira mais distribuída ao longo do tempo.

Figura 26 – Incidência de eventos extremos ($valor > 2\sigma$). Painel (a) Incidência de eventos extremos ($valor > 2\sigma$) ao longo da simulação, do período 0 ao 1000. A variável n_z indica a quantidade de eventos. Fonte: adaptado de Gatti et al. (2009). Painel (b): reprodução dos resultados do artigo de Gatti et al. (2009). Fonte: elaborado pelo autor.

6.2 EXTENSÃO DO MODELO: CRIAÇÃO DE UM MERCADO INTERBANCÁRIO

Com a implementação de um mercado interbancário os bancos passam a se conectar uns com os outros. Bancos que não possuem patrimônio líquido suficiente para cobrir a demanda por crédito das firmas, passam a tomar crédito com bancos superavitários. O relacionamento entre agentes é definido pela regra da escolha do parceiro preferido. Com o tempo, observa-se que uma topologia emerge ao longo do tempo, cujo grau de distribuição dos *links* entre os bancos se auto-organiza em uma lei de potência, conforme se observa na Figura 27.

Figura 27 – Distribuição dos *links* entre bancos no mercado interbancário. Fonte: elaborado pelo autor. Grau de distribuição dos *links* entre bancos no mercado interbancário evolui para uma lei de potência. No eixo Y está representada a posição relativa de um banco em relação à quantidade de *links* que possui com outros bancos em uma relação de crédito no mercado interbancário e, no eixo X, a quantidade de *links*.

Mesmo com a implementação do mercado interbancário, as propriedades que emergiram endogenamente no modelo base se mantiveram, conforme se observa na Figura 28.

Figura 28 – Propriedades do modelo com a introdução do mercado interbancário. Fonte: elaborado pelo autor.

Painel (a): Taxa de crescimento agregada; Painel (b): Patrimônio líquido das firmas; Painel (c): Inadimplências das firmas *Downstream* e *Upstream*; Painel (d): Inadimplência agregada das firmas; Painel (e): grau de distribuição da rede: *Downstream* versus *Upstream*; Painel (f): grau de distribuição da rede: Firms *versus* Bancos.

Também passa a ser calculada, a partir do mercado interbancário, a taxa de referência, que passa a servir como referência para os outros contratos da economia: do empréstimo bancário e da cadeia produtiva. Ela é calculada a partir da média ponderada dos contratos de crédito no mercado interbancário. A Figura 29, a seguir, a evolução da taxa ao longo da simulação.

Figura 29 – Taxa de referência de juros. Fonte: elaborado pelo autor. Taxa de referência é calculada a partir da média ponderada das taxas de juros dos contratos de empréstimo no mercado interbancário. No eixo Y está representado o valor em percentual da taxa básica de juros e, no eixo X, o período do tempo.

6.3 COMPOSIÇÃO DO RISCO

Com a implementação do mercado interbancário, foi possível criar uma nova taxa de referência do mercado. Essa taxa é calculada a partir da média ponderada de todos os contratos de crédito da rede interbancária serve como base para toda a economia e é levada em consideração na precificação do contrato de crédito.

Para o empréstimo bancário, realiza-se a composição da taxa de juros somando a taxa de referência do mercado calculada no período anterior ($r_{i(t-1)}$) com o *spread* de risco da operação (r_x^Z):

$$\hat{r}_z^x = r_{i(t-1)} + r_z^x \quad (16)$$

No Painel (a) da Figura 30 está ilustrada a taxa de referência do mercado (r_i), em azul, e a taxa do empréstimo bancário ($\hat{r}_x^Z$), em laranja. No Painel (b), após retirar a taxa de referência do mercado da taxa de empréstimo bancário, a resultante é o *spread* de risco embutido na taxa de juros da operação ($r_z^x = \hat{r}_x^Z - r_{f(t-1)}$).

Para o contrato firmado na cadeia produtiva, a composição da taxa de juros se dá através da soma da taxa de referência do mercado calculado no período anterior ($r_{i(t-1)}$) com o *spread* de risco da operação (r_j).

$$\hat{r}_j = r_{i(t-1)} + r_j \quad (17)$$

No Painel (a) da Figura 30, está ilustrada a taxa de referência do mercado (r_i), em azul, e a taxa cobrada pela firma *Upstream* na cadeia produtiva ($\hat{r}_j$), em laranja. No Painel (b), após retirar a taxa de referência do mercado da taxa de empréstimo bancário, a resultante é o *spread* de risco embutido na taxa de juros da operação ($r_j = \hat{r}_j - r_{f(t-1)}$).

Figura 30 – Taxa de juros e *spread* de risco nos contratos de empréstimo bancário. Fonte: elaborado pelo autor.

Painel (a): taxa de referência no mercado (r_i) e a taxa do empréstimo bancário ($\hat{r}_x^Z$). Painel (b): *spread* de risco embutido na taxa de juros da operação ($r_x^Z = \hat{r}_x^Z - r_{f(t-1)}$). No eixo Y está representado o percentual das taxas de juros e, no eixo X, o período do tempo.

Figura 31 – Taxa de juros e *spread* de risco nos contratos da cadeia produtiva. Fonte: elaborado pelo autor. Painel (a): taxa de referência no mercado (r_i) e a taxa cobrada pela firma *Upstream* na cadeia produtiva ($\hat{r}_j$). Painel (b): *spread* de risco embutido na taxa de juros da operação ($r_j = \hat{r}_j - r_{f(t-1)}$). No eixo Y está representado o valor em percentual das taxas de juros e, no eixo X, o período do tempo.

6.4 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA POLÍTICA MONETÁRIA

Para analisar o efeito de uma política monetária na economia, foi preciso implementar um mecanismo de transmissão. Com a implementação do mercado interbancário, foi possível criar

uma taxa de referência na economia, que é utilizada como referência para todos os outros contratos de crédito.

Para alcançar uma determinada meta na taxa básica de juros, o Banco Central desta economia aplica uma variação na taxa meta de juros, que passa a ser considerada nos contratos de crédito no mercado interbancário. Foi introduzida uma variável no modelo que define essa variação (Δr_{meta}). Uma variação de Δ em r_{meta} impacta em Δ a taxa básica de juros que, por sua vez, impacta nos contratos de crédito no mercado interbancário e, conseqüentemente, na taxa de referência do mercado, que é calculada a partir da média ponderada destes contratos. Indiretamente, todos os contratos de crédito na economia são impactados, pois utilizam a taxa de referência calculada no mercado interbancário, que sofre diretamente com a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Foram realizadas 30 simulações para cada Δr_{meta} , considerando cenários de políticas monetárias expansionistas e restritivas. Para simular um afrouxo monetário, variou-se a Δr_{meta} de 0% a -15%, e para simular um aperto monetário, de 0% a 24%¹³. A partir da média dos valores das propriedades que emergiram para cada Δr_{meta} , analisou-se o impacto da política monetária através do Canal dos Balanços Patrimoniais e do Canal do Empréstimo Bancário.

6.4.1 Transmissão da política monetária – Canal dos Balanços Patrimoniais

Através do Canal dos Balanços Patrimoniais, é possível analisar o impacto de uma política monetária nos balanços dos agentes, e o que isso afeta na precificação dos contratos de crédito de empréstimo bancário.

6.4.1.1 Impacto nas Firms Downstream

Conforme se observa na Figura 32, o patrimônio líquido das firmas *Downstream* tende a aumentar com uma política monetária expansionista (área em azul) e tende a cair com uma política monetária restritiva (área em laranja). Este impacto pode estar relacionado com a variação dos custos dos contratos de crédito, ilustrados na Figura 33, onde se observa o impacto

¹³ Δr_{meta} : O intervalo de -15% a 24% da variável Δr_{meta} foi definida para analisar o impacto de políticas monetárias expansionistas ($\Delta r_{meta} > 0$) e restritivas ($\Delta r_{meta} < 0$).

nas taxas de juros do modelo: a taxa de referência, em azul; a de empréstimo bancário, em verde; a dos contratos de crédito cobrada pela firma *Upstream*, em vermelho; e, em roxo, a taxa básica de juros.

Com o aumento dos custos dos contratos de crédito em uma política monetária restritiva ($\Delta r_{meta} > 0$), a receita das firmas *Downstream* cai e leva a uma diminuição da receita e, consequentemente, a um patrimônio líquido menor.

Figura 32 – Patrimônio Líquido médio das firmas *Downstream*. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o valor médio do patrimônio líquido das firmas *Downstream* e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}). A área azul representa uma política monetária expansionista e a em laranja, uma política restritiva.

Figura 33 – Taxas de juros da economia. Fonte: elaborado pelo autor. Em azul, a taxa de referência de juros; em vermelho, a taxa cobrada pelas firmas *Upstream* pelos contratos na cadeia produtiva; em verde, a taxa de juros no empréstimo bancário; e, em roxo, a taxa básica de juros. No eixo Y está representado o valor em percentual das taxas de juros e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Ao analisar a quantidade de inadimplências, ilustrados na Figura 34, observa-se que o percentual de firmas *Downstream* que quebram diminui à medida que ocorre o afrouxo monetário ($\Delta r_{meta} < 0$), destacado na área em azul, e aumenta à medida que aumenta a variação do aperto monetário ($\Delta r_{meta} > 0$), destacado na área em laranja.

Na Figura 35, visualiza-se a média dos preços dos bens finais das firmas no instante em que quebraram. Observa-se que, quanto maior for o aperto monetário, maior deverá ser a receita das firmas para cobrir o crescente custo dos contratos de crédito.

Um importante ponto para se notar é que, independente do valor de Δr_{meta} , o custo de mão de obra e o comportamento da variável exógena que define os preços dos bens finais permanecem constantes. Ou seja, essas variáveis não sofrem alteração com a implementação de uma política monetária neste modelo. Por conta disso, as curvas que definem essas duas propriedades apresentam um formato linear, pois o custo dos contratos de crédito cresce de forma linear.

Figura 34 – Percentual das firmas *Downstream* que quebram em média por simulação. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o percentual das firmas que quebram de juros e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Figura 35 – Preço médio ponderado dos bens finais que as firmas *Downstream* conseguiram vender no período em que quebraram. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representada a média do valor do bem final vendido pelas firmas no instante que quebraram e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

6.4.1.2 Impacto nas Firms Upstream

O patrimônio líquido das firmas *Upstream*, ilustrado na Figura 36, ao contrário do que se observa com o das firmas *Downstream*, aumenta à medida que a variável Δr_{meta} aumenta, destacada na área em azul, e diminui à medida que esta variável diminui, destacada na área em laranja. As firmas *Upstream*, em cenários de afrouxo monetário ($\Delta r_{meta} < 0$), tendem a possuir um patrimônio líquido menor por conta do aumento da alavancagem e pelo valor financeiro das inadimplências causadas pelos choques econômicos. Mesmo que a quantidade de quebras seja menor, conforme ilustrado na Figura 37, o impacto no patrimônio líquido tende a ser maior por conta do volume financeiro.

Nos cenários de aperto monetário ($\Delta r_{meta} > 0$), apesar do crescimento do número de firmas inadimplentes, o patrimônio líquido das firmas *Upstream* tende a crescer, pois o impacto financeiro tende a ser menor.

Figura 36 – Patrimônio Líquido médio das firmas *Upstream*. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o valor médio do patrimônio líquido das firmas *Upstream* e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Figura 37 – Percentual das firmas *Upstream* que quebram em média. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o percentual das firmas *Upstream* que quebram de juros e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

6.4.1.3 Inadimplência

Ao analisar o volume financeiro das inadimplências, ou *bad debt*, ilustrado na Figura 38, observa-se que, com um aperto monetário ($\Delta r_{meta} > 0$), este volume tende a aumentar, ao mesmo passo que aumentam os custos dos contratos de crédito e do percentual de firmas que quebram.

Ao aplicar um afrouxo monetário ($\Delta r_{meta} < 0$), há uma queda no *bad debt*. Entretanto, para $\Delta r_{meta} < -7\%$, mesmo com a redução do percentual de firmas que quebram, houve um aumento no volume financeiro ao invés de uma diminuição. Ao diminuir a taxa de juros aumenta-se a receita e patrimônio líquido das firmas *Downstream* com a diminuição dos custos dos contratos de crédito e, conseqüentemente, aumenta-se a produção de bens-finais, que leva a um aumento de insumos demandados para as firmas *Upstream*. Quanto maior for a produção de uma firma, maior sua exposição a choques econômicos.

Como o comportamento dos choques nesta economia (volatilidade do preço de um bem final) permanece constante, independente da política monetária, observa-se um aumento do valor financeiro da inadimplência ao aplicar um afrouxo monetário pelo aumento da exposição das firmas em geral, e não pela quantidade de firmas que quebram.

Figura 38 – Valor financeiro médio por período da inadimplência, ou *bad debt*, nos contratos de empréstimo. Fonte: elaborado pelo autor. Valor financeiro médio por período da inadimplência nos contratos de empréstimo bancário gerado por firmas *Downstream* e *Upstream* que quebraram e não honraram seus compromissos com os bancos. No eixo Y está representada a média do valor das inadimplências dos contratos de crédito da cadeia produtiva e do empréstimo bancário e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

6.4.1.4 Impacto nos Bancos

Com relação ao patrimônio líquido dos bancos, ilustrado na Figura 36, ao diminuir a taxa meta de juros ($\Delta r_{meta} < 0$) o volume de crédito demandado tende a aumentar por conta do aumento da capacidade produtiva das firmas *Downstream*, resultando maior receita para os bancos. Ao aumentar a taxa meta de juros ($\Delta r_{meta} > 0$), a capacidade das firmas *Downstream* diminui, levando a uma menor demanda por crédito e, conseqüentemente, a uma menor receita para os bancos. Na Figura 37, observa-se a evolução do percentual de bancos que quebram à medida que ocorre o aperto monetário.

Figura 39 – Patrimônio Líquido médio dos bancos.

Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o valor médio do patrimônio líquido dos bancos e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Figura 40 – Percentual dos bancos que quebram em média. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o percentual dos bancos que quebram de juros e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

6.4.1.5 Impacto na Precificação dos Contratos no Empréstimo Bancário

Para analisar como o impacto nos balanços dos agentes afetou na precificação dos contratos de crédito, isolou-se o *spread* dos contratos, que é calculada levando-se em consideração a alavancagem do agente tomador e o patrimônio líquido do agente credor. Na Figura 38, observa-se o *spread* do contrato do empréstimo bancário, obtido através da taxa de juros do contrato subtraído da taxa básica de juros (taxas ilustradas na Figura 32). Observa-se que o *spread* tende a aumentar à medida que Δr_{meta} aumenta, evidenciando que o impacto nos balanços dos agentes influenciou na precificação do contrato de crédito.

Figura 41 – *Spread* da taxa de juros cobradas no empréstimo bancário. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o valor em percentual do spread de risco da taxa de juros do empréstimo bancário e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Para entender como o balanço dos agentes influenciou no *spread*, foi analisado cada um dos fatores que o compõem: fator do agente credor e fator do agente tomador. Essa análise foi realizada para os *spreads* nos contratos de crédito de empréstimo bancário para firmas *Downstream* e *Upstream*.

Na Figura 39, pode-se analisar como cada fator evolui com a implementação da política monetária para os contratos de empréstimo bancário firmados com agentes *Downstream*. Em vermelho, observa-se a evolução do fator do agente credor, no caso o banco, que aumenta com uma política monetária expansionista ($\Delta r_{meta} < 0$) e diminui, com uma política restritiva ($\Delta r_{meta} > 0$). Em um cenário de afrouxo monetário, por conta do aumento patrimônio do banco, este passa a ter condições de ofertar taxas menores de juros. E em um cenário de aperto monetário, o patrimônio líquido do banco diminui, e este deixa de ter condições de ofertar taxas baixas e eleva o fator do credor. Em azul, verifica-se a evolução da alavancagem das firmas *Downstream*. Mesmo com a redução de seus patrimônios líquidos a alavancagem permanece constante no intervalo de 4,5 a 4,7%, pois a necessidade de crédito também cai. Portanto, até um determinado valor de Δr_{meta} , a maior contribuição do *spread* deixa de ser a alavancagem da firma e passa a ser o fator do credor.

A evolução dos fatores que compõem o *spread* das firmas *Upstream* pode ser verificada na Figura 40. Observa-se uma evolução do fator do agente credor, em vermelho, similar à observada na taxa cobrada para firmas *Downstream*, em que esta aumenta, em um cenário de aperto monetário e diminui, em um cenário de afrouxo monetário. Em azul, verifica-se a evolução da alavancagem das firmas *Upstream* que, ao contrário da observada nas firmas *Downstream*, diminui à medida que Δr_{meta} aumenta. Pode-se associar a evolução da alavancagem da firma *Upstream* à medida que aumenta-se o valor de Δr_{meta} com dois fatores: o patrimônio líquido dessas firmas aumenta e os insumos demandados para elas diminui. As firmas *Upstream* alavancam-se muito mais que as firmas *Downstream*, pois não limitam a produção de insumos ao seu patrimônio líquido, e podem produzir para uma ou mais firmas. O fator do agente tomador, neste caso a firma *Upstream*, contribui com a maior parte do *spread* até uma variação de 15% da Δr_{meta} .

Figura 42 – Decomposição do *spread* da taxa de juros cobrada no empréstimo bancário para firmas *Downstream*. Fonte: elaborado pelo autor. Em vermelho, o fator do *spread* referente às condições do credor. E em azul, o fator do *spread* referente às condições da firma tomadora *Downstream* do crédito. No eixo Y está representado o valor em percentual dos fatores que compõem o *spread* de risco da taxa de juros do empréstimo bancário e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Figura 43 – Decomposição do *spread* da taxa de juros cobrada no empréstimo bancário para firmas *Upstream*. Fonte: elaborado pelo autor. Em vermelho, o fator do *spread* referente às condições do credor. E em azul, o fator do *spread* referente às condições da firma tomadora *Upstream* do crédito. No eixo Y está representado o valor em percentual dos fatores que compõem o *spread* de risco da taxa de juros do empréstimo bancário e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

6.4.1.6 Impacto na Produção Agregada

Ao se implementar uma política monetária expansionista ($\Delta r_{meta} < 0$), altera-se a taxa básica de juros que afeta diretamente os contratos do mercado interbancário. No período seguinte, a taxa média ponderada dos contratos de crédito, a taxa de referencia, “repassa” o efeito da política monetária através dos relacionamentos de crédito de empréstimo bancário e da cadeia produtiva. Conforme Figura 44, observa-se que a produção agregada tende a aumentar quanto maior for o afrouxo monetário. Conforme discutido na análise do patrimônio líquido das firmas *Downstream*, a redução dos custos dos contratos de crédito faz com que as firmas tenham lucros maiores e, consequentemente, um patrimônio líquido maior. Como a produção é dada em função do patrimônio líquido de uma firma *Downstream*, a produção também aumenta. Da mesma forma, ao implementar-se uma política monetária restritiva ($\Delta r_{meta} > 0$), o aumento dos custos dos contratos de crédito leva a lucros e capacidade produtiva menores. Além disso, há uma maior incidência de inadimplência.

Figura 44 –Produção agregada da economia. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o valor médio da produção agregada na economia e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}). A área azul representa uma política monetária expansionista e a em laranja, uma política restritiva.

6.4.2 Transmissão da política monetária – Canal do Empréstimo Bancário

Através do Canal do Empréstimo Bancário, é possível analisar como uma política monetária afeta a oferta de crédito em uma economia. O modelo deste trabalho assume a premissa de que todo crédito demandado é ofertado.

Conforme Figura 45, ao implementar uma política monetária expansionista ($\Delta r_{meta} < 0$) o crédito demandado aumenta, pois a produção das firmas *Downstream* aumenta, assim como os insumos demandados para as firmas *Upstream*, gerando uma demanda maior por crédito via empréstimo bancário. Por outro lado, caso seja implantada uma política monetária restritiva ($\Delta r_{meta} > 0$), observa-se a diminuição do crédito demandado, pois as firmas *Downstream* passam a produzir menos e as firmas *Upstream* passam a ser menos demandadas por insumos.

Figura 45 – Demanda de crédito no empréstimo bancário. Fonte: elaborado pelo autor. No eixo Y está representado o valor médio de crédito demandado no empréstimo bancário e, no eixo X, a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}).

Os bancos, mesmo que possuam pouco recurso disponível, nunca negam crédito às firmas. Caso possuam pouco patrimônio, aumentam o fator do agente credor, elevando a taxa de juros do contrato de crédito. Por outro lado, mesmo que as firmas possuam uma alta alavancagem, os bancos não restringem o crédito e a forma de “penalizá-las”, ou de exigir uma remuneração pelo risco, é atribuir um alto *spread* de risco na taxa de juros do contrato. Portanto, a oferta de crédito no modelo deste trabalho, é afetada apenas pela demanda e não pela decisão dos bancos em prover crédito.

7 CONCLUSÃO

O resultado do trabalho de Gatti et al. (2009) foi reproduzido e foi possível estendê-lo de forma a implementar um mercado interbancário e um mecanismo de transmissão de política monetária.

Com a implementação do mercado interbancário foi possível implementar uma taxa básica na economia, exógena ao sistema, que impacta diretamente nos contratos de créditos entre bancos. A partir destes contratos no mercado interbancário, foi possível criar uma taxa de referência para os contratos de crédito do empréstimo bancário e da cadeia produtiva. A partir dessa nova taxa de referência foi possível alterar a função da precificação dos contratos de crédito, somando-a com o *spread* de risco da operação.

A implantação da taxa básica de juros, taxa de referência e composição do risco, viabilizou a criação de um mecanismo de transmissão da política monetária através do canal de crédito: a variação da taxa meta de juros (Δr_{meta}). Ao alterar-se a taxa meta de juros, altera-se a taxa básica de juros que, por sua vez, impacta no mercado interbancário afetando a taxa de referência, que é utilizada nas funções de precificação dos contratos de crédito da cadeia produtiva e do empréstimo. Esse mecanismo de transmissão permitiu analisar o impacto da política monetária através dos subcanais de crédito: (i) Canal dos Balanços Patrimoniais e (ii) Canal do Empréstimo Bancário.

Analisando a transmissão via Canal dos Balanços Patrimoniais, observou-se que há um reflexo nos passivos das empresas em que o custo do financiamento aumenta ou diminui a partir de uma alteração na taxa meta de juros (Δr_{meta}). Com o impacto nos passivos da empresa, a precificação dos contratos de crédito por parte dos agentes credores também é influenciada, pois o *proxy* de qualidade dos agentes tomadores (patrimônio líquido) pode melhorar ou piorar. Há também o impacto no balanço dos bancos e, conseqüentemente, no cálculo da taxa de juros, pois na precificação do contrato de crédito, o banco também leva em consideração seu próprio patrimônio líquido para ofertar a menor taxa possível.

Com relação à produção agregada, observou-se que, com uma política monetária expansionista ($\Delta r_{meta} < 0$), ela tende a aumentar, pois com a diminuição da taxa básica da economia os demais contratos também tendem a sofrer uma redução, estimulando o crescimento do patrimônio líquido, a capacidade produtiva das firmas *Downstream* e redução dos custos de

crédito. Em uma política monetária restritiva ($\Delta r_{meta} > 0$), o efeito é o inverso, como foi de se esperar, onde o aumento da taxa básica de juros leva ao aumento dos custos do crédito gerando uma redução do patrimônio líquido das firmas *Downstream* e, conseqüentemente, a uma capacidade produtiva menor.

Analisando a inadimplência agregada, com uma política monetária restritiva ($\Delta r_{meta} > 0$) aumenta-se a quantidade de firmas que quebram e o volume financeiro não honrado (*bad debt*) aumenta. Conforme resultado da Figura 34, quanto maior o custo de financiamento maior o valor mínimo do bem final que a empresa deve vender seus produtos para que tenha receitas suficientes para honrar seus contratos. Entretanto, o valor da taxa de juros não é influenciado pela inadimplência agregada.

Ao analisar o Canal de Empréstimo Bancário, observa-se que a oferta será sempre igual a demanda, pois no modelo assume-se como premissa que tudo o que é demandado de crédito é ofertado. Observa-se que, quanto maior for o afrouxo monetário maior será o crédito ofertado para cobrir os custos de uma produção cada vez maior. Em um cenário de aperto monetário, o inverso ocorre. Pelo fato dos bancos sempre concederem crédito, não foi possível analisar o efeito de uma política monetária nas decisões dos agentes credores em conceder crédito. O que aconteceria na oferta de crédito e produção agregada caso houvesse uma restrição do crédito na economia em um cenário de alta inadimplência?

As propriedades dessa rede emergiram através de interações entre agentes de diferentes setores através de relacionamentos de crédito. A topologia de rede e o grau de distribuição dos *links* entre os agentes emergiram para uma lei de potência, através de um processo endógeno de interação, que utiliza a regra da escolha do parceiro preferido, a heterogeneidade de cada agente com relação às taxas ofertadas, afeta diretamente na quantidade de clientes que o agente estará conectado.

A partir do framework implementado por Gatti et al. (2009), e estendido por este trabalho, é possível implementar melhorias para tratar não só as premissas assumidas no modelo, como também endereçar outros problemas relacionados à política monetária. Segue abaixo, uma lista de itens para serem abordados em trabalhos futuros:

- Distribuição do preço de bens finais:

- implementar uma distribuição nos preços dos bens finais utilizando modelos de precificação (no modelo de Gatti et al. (2009), em cada período é gerado um preço aleatório com probabilidade constante);
- Preço bem final:
 - levar em consideração no preço do bem final o custo de produção:
 - se houver aumento no custo dos insumos o preço deveria ser repassado no preço do bem final;
 - considerar questão da mão de obra como custo fixo e não variável.
 - considerar impostos:
 - futuramente, poderia ser analisado o impacto da política fiscal na produção, em que o valor do imposto seria repassado no preço do bem final;
 - considerar a questão do imposto sobre recursos humanos. Uma política fiscal expansionista poderia implementar uma exoneração de imposto na folha de pagamento de um determinado mercado.
- Demanda de bens finais:
 - modelo atual assume como premissa que tudo o que é produzido é consumido. O choque que ocorre na economia não é da demanda, mas sim dos preços dos bens finais;
 - implementar a questão comportamental na formação da demanda e da oferta (e.g. nível de insegurança dos empresários em uma economia pode impactar nos investimentos na indústria acarretando na redução da demanda por trabalho e na produção de bens, que pode por sua vez acarretar no aumento da inflação).
- Contratos de crédito:
 - implementar racionamento de crédito conforme trabalho de Stiglitz e Weiss (1981);
 - inclusão da decisão de conceder ou não empréstimo para um determinado agente;
 - permitir obter crédito com mais de um agente;
 - permitir contratos de crédito com vencimento maior que 1 período.
- Quantidade de agentes na economia:
 - permitir o surgimento de novos agentes no mercado dado demanda e oferta.
- Atuação do Banco Central de forma dinâmica.
- Inclusão do Risco País e seus impactos na economia e na decisão das políticas públicas.

8 REFERÊNCIAS

ASSAF, Alexandre Neto. **Mercado financeiro**. São Paulo: Atlas, 2011.

CHACKO, G. et al. **Credit derivatives: a primer on credit risk, modeling and instruments**. [s/l]: [s/e], 2006.

CHALLET, Damien; ZHANG, Y-C. **Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 246, n. 3, p. 407-418, 1997.

CREPALDI, Antonio Fernando; FERREIRA, Fernando Fagundes; RODRIGUES, José de Souza. **Minority Game: an agent-based model applied to financial market**. Gestão & Produção, v. 19, n. 4, p. 793-809, 2012.

FARMER, J. D.; FOLEY, D. **The economy needs agent-based modeling**. Nature, v. 460, 2009. Disponível em: <<http://tuvalu.santafe.edu/~jdf/papers/EconomyNeeds.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

FEIJÓ, Carmem Aparecida et al. **Para entender a conjuntura econômica**. Barueri: Manole, [s/d].

FERREIRA, Fernando F.; MATTEO, Marsili. **Real payoffs and virtual trading in agent based market models**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 345, n. 3, p. 657-675, 2005.

FRANKLIN, S.; GRAESSER, A. **Is it an agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agents**. In: MULLER JP et al. (eds.). Intelligent agents III: agents theories, architectures, and languages. Berlin: Springer-Verlag, 1997.

FRYER, P.; RUIS, J. **What are Fractal Systems? A brief description of 'Complex Adaptive and Emergent Systems'** (CAES). 2004. Disponível em: <<http://www.fractal.org/Fractal-systems.htm>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

GALLE, Juliano. **O funcionamento do canal de empréstimos bancários considerando um diferencial entre taxas de juros de captação e concessão de crédito**. Revista Economia Ensaios, Uberlândia (MG), v. 27, n. 1, p. 43-56, jul.-dez. 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistaeconomiaensaios/article/viewFile/19683/13099>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

DELLI GATTI, D.; GAFFEO, E.; GALEGATTI, M. **Complex agent-based macroeconomics: a manifesto for a new paradigm**. J Ecpm Omteract Coord. 2010.

DELLI GATTI, Domenico et al. **Business fluctuations and bankruptcy avalanches in an evolving economic network**. Journal of Economic Interaction and Coordination, n. 4, p. 195-212, 2009.

GEELS, F. W. **Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study**. Elsevier, Research Policy, v. 31, n. 8-9p. 1257-1274, 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733302000628>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

GILBERT, G.N.; TROITZSCH, K. G. **Simulation for the social scientist**. Buckingham: Open University Press, 1999.

GILBERT, N. **Agent-based models**. Londres: Sage, 2008.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2007.

KHOLER, Marion. **Trade credit and the monetary transmission mechanism**. Disponível em: <<http://www.bankofengland.co.uk/publications/Documents/workingpapers/wp115.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2012.

KIRMAN, A. **The economic crisis is a crisis of economic theory**. Paper presented at the Conference 'What Is Wrong with Modern Macroeconomics'. Center for Economic Studies, Munich, 2009. Disponível em: <<http://cesifo.oxfordjournals.org/content/56/4/498.short>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

KOROWICZ, D. **Trade-off: financial system supply-chain cross - contagion: a study in global systemic colapse**. 2012. Disponível em: <<http://www.feasta.org/wp-content/uploads/2012/06/Trade-Off1.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

LENZU, Simone; TEDESCHI, Gabriele. **Systemic risk on different interbank network topologies**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 391, n. 18, p. 4331-4341, 2012.

MACY, M.W.; WILLER, R. **From factors to actors: computational sociology and agent-based modeling**. Annu Rev Sociol, n. 28, p. 143-166, 2002.

MISHKIN, Frederic S. **Monetary policy strategy**. Londres: The MIT Press, 2007.

MITCHELL, M. **Complexity: a guided tour**. Nova Iorque: Oxford University Press, 2009.

NEWMAN, Mark EJ; GIRVAN, Michelle. **Finding and evaluating community structure in networks**. Physical review E, 69(2), 026113, 2014.

PAGE, S. E.; MILLER, J. H. **Complex adaptive system**. Princeton: Princeton University Press, 2007.

RUSSEL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

SANTANA, B. N. A.; FERREIRA, F. F. **Modelos baseados em agentes**. No prelo, 2014.

STIGLITZ, J. E.; WEISS, A. **Credit rationing in markets with imperfect information**, The American Economic Review, v. 71, n. 3, p. 393-410, jun. 1981.

TEDESCHI, Gabriele et al. **Bankruptcy cascades in interbank markets**. PloS one, v. 7, n. 12, p. e52749, 2012.

THE FEDERAL RESERVE IN THE 21ST CENTURY, 2012, Nova Iorque. **The Monetary Transmission Mecanism**. Nova Iorque: The Federal Reserve Bank of New York, 2012. Disponível em: <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Documents/workingpapers/wp115.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2012.

WOOLDRIDGE, M.J.; JENNINGS, N. **Intelligent agents: theory and practice**. Knowle Eng Ver, v. 10, n. 2, p. 115-152, 1995.

ZAMBONELLI, F.; JENNINGS, N.; WOOLDRIDGE, M. J. **Organisational abstractions for the analysis and design of multi-agent systems**. In: CIANCARINI, P.; WOOLDRIDGE, M. J. (eds.). Agent-oriented software engineering. Berlim: Springer-Verlag, 2001.

9 ANEXOS

ANEXO A. Fórmulas do Fluxo de Orçamento da Firma *Downstream*

Verifica capacidade produtiva	
$Y_{it} = \phi A_{it}^{\beta}$	Y_{it} é a variável que define a capacidade produtiva da firma A_{it} é o património líquido da firma i no instante t ϕ e β são parâmetros, em que $\phi < 1$ e $0 < \beta < 1$, uniforme para todas as firmas

Realiza orçamento de mão de obra	
custo $\text{mão de obra} = W_{it} = wN_{it}$	W_{it} é o custo da mão de obra de uma firma i no instante t w é parâmetro e é uniforme para todas as firmas N_{it} é a quantidade de mão de obra demandada pela firma i no instante t definida pela fórmula $N_{it} = \delta_d Y_{it}$
$N_{it} = \delta_d Y_{it}$	N_{it} é a quantidade demandada de mão de obra demanda pela firma i em um dado período t δ_d é parâmetro, em que $\delta_d > 0$, uniforme para todas as firmas

Escolhe firma <i>Upstream</i> e realiza orçamento dos insumos	
$\text{orçamento insumos} = p_{jt} Q_{it}$	O orçamento de insumos é definido pela fórmula ao lado, em que p_{jt} é o preço cobrado pela firma <i>Upstream</i> j no instante t , e Q_{it} é a quantidade demandada pela firma <i>Downstream</i> i no instante t .
$p_{jt} = 1 + r_{jt}$	p_{jt} é o preço cobrado por uma firma <i>Upstream</i> j no instante t r_{jt} é a taxa de juros no contrato de crédito por uma firma <i>Upstream</i> j no instante t , definido pela fórmula $r_{jt} = \alpha A_{jt}^{-\alpha}$
$r_{jt} = \alpha A_{jt}^{-\alpha}$	A_{jt} é o património líquido da firma j no instante t α é parâmetro, em que $\alpha > 0$
$Q_{it} = \gamma Y_{it}$	Q_{it} é a quantidade de insumos requerida por uma firma i no instante t γ é parâmetro, em que $\gamma > 0$

Escolhe banco e realiza orçamento de crédito	
$\text{orçamento crédito} = (1 + r_{zt}^x) B_{it}$	O orçamento de crédito é definido pela fórmula ao lado, em que r_{zt}^x é a taxa de juros cobrada pelo banco Z para uma firma X no instante t , e B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t
$r_{zt}^x = \sigma A_{zt}^{-\sigma} + \theta (l_{xt})^{\theta}$	r_{zt}^x é a variável que define o custo de financiamento de um banco Z para uma firma X σ e θ são parâmetros em que $\sigma > 0$ e $\theta > 0$ A_{zt} é o património líquido do banco Z no instante t l_{xt} é a alavancagem da firma X no instante t
$l_{xt} = B_{it} / A_{it}$	l_{xt} é a alavancagem da firma X no instante t , e é definida pela fórmula $l_{xt} = B_{it} / A_{it}$ B_{it} é a variável que define a quantidade de crédito requerida por uma firma <i>Downstream</i> i no instante t
$B_{it} = \max(W_{it} - A_{it}, 0)$	B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t W_{it} é o custo da mão de obra de uma firma i no instante t A_{it} é o património líquido da firma i no instante t

ANEXO B. Fórmulas do Fluxo de Operação da Firma *Downstream*

Calcula receita	
$receita = u_{it} Y_{it}$	<p>A receita da firma é calculada a partir da fórmula ao lado</p> <p>u_{it} é a variável que define o preço do bem final produzido pela firma i.</p> <p>u_{it} é uma variável randômica uniformemente distribuída no intervalo (0, 2)</p> <p>Y_{it} é a variável que define a capacidade produtiva da firma</p>
↓	
Calcula custo de mão de obra	
$custo$ $mão\ de\ obra = W_{it} = wN_{it}$	<p>O cálculo do custo de mão de obra é definido pela fórmula ao lado</p> <p>W_{it} é o custo da mão de obra de uma firma i no instante t</p> <p>w é parâmetro e é uniforme para todas as firmas</p> <p>N_{it} é a quantidade demandada de mão de obra demanda pela firma i em um dado período t</p>
↓	
Calcula custo dos contratos de crédito	
$custo\ dos\ contratos = \frac{custo\ contrato}{crédito\ cadeia\ produtiva} + \frac{custo\ contrato}{crédito\ empréstimo\ bancário}$	O cálculo dos custos dos contratos de crédito é calculado conforme fórmula ao lado.
$\frac{custo\ contrato}{crédito\ cadeia\ produtiva} = \frac{Custo}{insumos} = p_{jt} Q_{it}$	O cálculo do custo do contrato de crédito na cadeia produtiva é definido conforme fórmula ao lado, em que p_{jt} é o preço cobrado pela firma <i>Upstream</i> j no instante t e Q_{it} é a quantidade de insumos requerida pela firma i no instante t
$\frac{custo\ contrato}{crédito\ empréstimo\ bancário} = \frac{custos}{financeiros} = r_{zt}^x B_{it}$	O custo do contrato de crédito de empréstimo bancário é definido pela fórmula ao lado, em que r_{zt}^x é a taxa cobrada pelo banco Z para uma firma X no instante t , e B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t

ANEXO C. Fórmulas do Fluxo de Resultado da Firma *Downstream*

ANEXO D. Fórmulas do Fluxo de Orçamento da Firma *Upstream*

Verifica quantidade insumos demandada	
$Q_{jt} = \gamma \sum_{i \in \Phi_j} Y_{it}$	<p>Q_{jt} é a variável que define a quantidade demandada de bens intermediários, ou insumos, para a firma j no instante t</p> <p>Y_{it} é a capacidade produtiva da firma <i>Downstream</i> i no instante t</p> <p>ϕ e β são parâmetros, em que $\phi < 1$ e $0 < \beta < 1$, uniforme para todas as firmas</p>

Realiza orçamento de mão de obra	
<p><i>custo</i> <i>mão de obra</i> = $W_{jt} = wN_{jt}$</p>	<p>W_{jt} é o custo da mão de obra de uma firma j no instante t</p> <p>w é parâmetro e é uniforme para todas as firmas</p> <p>N_{jt} é a quantidade de definida pela mão de obra demandada pela firma j em um dado período t, definida pela</p> <p>formula $N_{it} = \delta_d Y_{it}$</p>
$N_{jt} = \delta_u Q_{jt}$	<p>N_{it} é a quantidade demandada de mão de obra demanda pela firma j em um dado período t</p> <p>δ_d é parâmetro, em que $\delta_d > 0$, uniforme para todas as firmas</p>

Escolhe banco e realiza orçamento de crédito	
<p><i>orçamento</i> <i>crédito</i> = $(1 + r_{zt}^x)B_{jt}$</p>	<p>O orçamento de crédito é definido pela fórmula ao lado, em que r_{zt}^x é a taxa de juros cobrada pelo banco Z para uma firma X no instante t, e B_{jt} é a quantidade de crédito demandada pela firma j no instante t</p>
$r_{zt}^x = \sigma A_{zt}^{-\sigma} + \theta (l_{xt})^\theta$	<p>r_{zt}^x é a variável que define o custo de financiamento de um banco Z para uma firma X</p> <p>σ e θ são parâmetros em que $\sigma > 0$ e $\theta > 0$</p> <p>A_{zt} é o patrimônio líquido do banco Z no instante t</p> <p>l_{xt} é a alavancagem da firma X no instante t</p>
$l_{xt} = B_{jt}/A_{jt}$	<p>l_{xt} é a alavancagem da firma X no instante t, e é definida pela fórmula $l_{xt} = B_{jt}/A_{jt}$</p> <p>B_{it} é a variável que define a quantidade de crédito requerida por uma firma <i>Upstream</i> j no instante t</p>
$B_{jt} = \max(W_{jt} - A_{jt}, 0)$	<p>B_{jt} é a quantidade de crédito demandada pela firma j no instante t</p> <p>W_{jt} é o custo da mão de obra de uma firma j no instante t</p> <p>A_{jt} é o patrimônio líquido da firma j no instante t</p>

ANEXO E. Fórmulas do Fluxo de Operação da Firma *Upstream*

ANEXO F. Fórmulas do Fluxo de Resultado da Firma *Upstream*

ANEXO G. Fórmulas do Fluxo de Orçamento do Banco

Verifica quantidade crédito demandada	
$B_{zt} = \sum_{i \in \Phi_Z} B_{it} + \sum_{j \in \Phi_Z} B_{jt}$	<p>B_{zt} é a variável que define a quantidade de crédito demandada para o banco z no instante t</p> <p>B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t</p> <p>B_{jt} é a quantidade de crédito demandada pela firma j no instante t</p> <p>Φ_z é o conjunto de clientes do banco Z</p>

ANEXO H. Fórmulas do Fluxo de Operação do Banco

Calcula receita	
$receita = \sum_{i \in \Phi_Z} r_{zt}^i B_{it} + \sum_{j \in \Phi_Z} r_{zt}^j B_{jt}$	<p>A receita do banco é calculada a partir da fórmula ao lado</p> <p>B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t</p> <p>r_{zt}^i é a taxa de juros cobrada pelo banco z no contrato de crédito de empréstimo bancário realizado com a firma <i>Downstream</i> i no instante t</p> <p>B_{jt} é a quantidade de crédito demandada pela firma j no instante t</p> <p>r_{zt}^j é a taxa de juros cobrada pelo banco z no contrato de crédito de empréstimo bancário realizado com a firma <i>Upstream</i> j no instante t</p> <p>Φ_z é o conjunto de clientes do banco Z</p>

Calcula dos prejuízos com inadimplências	
$BD_{zt} = \sum_{i \in \Phi_Z^B} B_{it} + \sum_{j \in \Phi_Z^B} B_{jt}$	<p>O prejuízo com inadimplências é definido pela fórmula ao lado, em que BD_{jt} é o valor da inadimplência gerada pelas firmas <i>Downstream</i> i e <i>Upstream</i> j, que não honraram com os contratos de créditos de empréstimo bancário firmado com o banco z no instante t</p> <p>B_{it} é o valor que o banco z concedeu de crédito para a firma i no instante t</p> <p>B_{jt} é o valor que o banco z concedeu de crédito para a firma j no instante t</p> <p>Φ_z^B é o conjunto de clientes inadimplentes do banco z no instante t</p>

ANEXO I. Fórmulas do Fluxo de Resultado do Banco

ANEXO J. Fórmulas do Fluxo de Orçamento do Banco – Fluxo Estendido

Verifica quantidade crédito demandada	
$B_{zt} = \sum_{i \in \Phi_z} B_{it} + \sum_{j \in \Phi_z} B_{jt} + \sum_{ZD \in \Phi_z} B_{ZDt}$	<p>B_{zt} é a variável que define a quantidade de crédito demandada para o banco z no instante t</p> <p>B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t</p> <p>B_{jt} é a quantidade de crédito demandada pela firma j no instante t</p> <p>B_{ZDt} é a quantidade de crédito demandada pelo banco ZD no instante t</p> <p>Φ_z é o conjunto de clientes do banco Z</p>

Escolhe banco e realiza orçamento de crédito	
$\text{orçamento}_{\text{crédito}} = (1 + r_{ZC}^{ZD}) B_{ZDt}$	<p>O orçamento de crédito é definido pela fórmula ao lado, em que r_{ZC}^{ZD} é a taxa de juros cobrada pelo banco credor ZD para um banco tomador ZC no instante t</p> <p>B_{ZDt} é a quantidade de crédito demandada pelo banco tomador ZD no instante t</p>
$r_{ZC}^{ZD} = \sigma A_{ZC}^{-\sigma} + \theta (l_{ZDt})^\theta$	<p>r_{ZC}^{ZD} é a variável que define o custo de financiamento de um banco credor para um banco tomador</p> <p>σ e θ são parâmetros em que $\sigma > 0$ e $\theta > 0$</p> <p>A_{ZC} é o patrimônio líquido do banco credor no instante t</p> <p>l_{ZDt} é a alavancagem do banco tomador no instante t</p>
$l_{ZDt} = B_{ZDt} / A_{ZDt}$	<p>l_{ZDt} é a alavancagem do banco tomador no instante t</p> <p>B_{ZDt} é a variável que define a quantidade de crédito requerido por um banco tomador no instante t</p>
$B_{ZDt} = \max(B_{zt} - A_{zt}, 0)$	<p>B_{zt} é a quantidade de crédito demandada pelo banco Z no instante t</p> <p>A_{zt} é o patrimônio líquido do banco Z no instante t</p>

ANEXO K. Fórmulas do Fluxo de Operação do Banco – Fluxo Estendido

Calcula receita	
$receita = \sum_{i \in \Phi_Z} B_{it} + \sum_{j \in \Phi_Z} B_{jt} + \sum_{ZD \in \Phi_Z} B_{ZDt}$	<p>A receita do banco z no instante t é definida pela fórmula ao lado</p> <p>B_{it} é a quantidade de crédito demandada pela firma i no instante t</p> <p>B_{jt} é a quantidade de crédito demandada pela firma j no instante t</p> <p>B_{ZDt} é a quantidade de crédito demandada pelo banco ZD no instante t</p> <p>Φ_Z é o conjunto de clientes do banco Z</p>
↓	
Calcula custo dos contratos de crédito	
$\text{custo contrato crédito empréstimo bancário} = \frac{\text{custos financeiros}}{r_{ZC}^{ZD} B_{zt}}$	<p>O custo do contrato de crédito de empréstimo bancário é definido pela fórmula ao lado, em que r_{ZC}^{ZD} é a taxa cobrada pelo banco credor ZC para um banco tomador ZD no instante t,</p> <p>B_{zt} é a quantidade de crédito demandado pelo banco Z no instante t</p>
↓	
Calcula dos prejuízos com inadimplências	
$BD_{zt} = \sum_{i \in \Phi_Z^B} B_{it} + \sum_{j \in \Phi_Z^B} B_{jt} + \sum_{ZD \in \Phi_Z^B} B_{ZDt}$	<p>O prejuízo com inadimplências é definido pela fórmula ao lado, em que BD_{jt} é o valor da inadimplência gerada pelas firmas <i>Downstream</i> i, <i>Upstream</i> j, e bancos ZD que não honraram com os contratos de créditos firmado com o banco Z no instante t</p> <p>B_{it} é o valor que o banco z concedeu de crédito para a firma i no instante t</p> <p>B_{jt} é o valor que o banco z concedeu de crédito para a firma j no instante t</p> <p>B_{ZDt} é o valor que o banco z concedeu de crédito para o banco ZD no instante t</p> <p>Φ_Z^B é o conjunto de clientes inadimplentes do banco z no instante t</p>

ANEXO L. Fórmulas do Fluxo de Resultado do Banco – Fluxo Estendido