

Helberte João França Almeida

Ciclos de crescimento Goodwiniano com
flexibilização da razão capital-produto:
uma abordagem computacional baseada
em agentes

Florianópolis
2012

Helberte João França Almeida

Ciclos de crescimento Goodwiniano com
flexibilização da razão capital-produto:
uma abordagem computacional baseada
em agentes

Dissertação apresentada em cumprimento às exigências do Programa de Pós -Graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Economia .

Orientador: Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira

Florianópolis
2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

A447c Almeida, Helberte João França

Ciclos de crescimento Goodwiniano com flexibilização da razão capital-produto [dissertação] : uma abordagem computacional baseada em agentes / Helberte João França Almeida ; orientador, Jaylson Jair da Silveira. - Florianópolis, SC, 2012.

72 p.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio-Econômico. Programa de Pós-Graduação em Economia.

Inclui referências

1. Economia. 2. Modelagem computacional. 3. Desenvolvimento econômico. I. Silveira, Jaylson Jair da. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDU 33

Comissão Julgadora:

Prof. Dr.
Nome

Prof. Dr.
Nome

Prof. Dr.
Jaylson Jair da Silveira

Agradeço a todos que contribuíram para minha conquista

Não existe almoço grátis na economia.
Milton Friedmann

Agradecimentos

Este espaço é dedicado aos agradecimentos das pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, as quais as palavras que seguem são incapazes de expressar meu sentimento de gratidão.

Primeiramente agradeço a Deus, meu criador maior.

Todos os membros da minha família, os quais possuem o meu total amor e carinho.

Gostaria de deixar o meu sincero agradecimento, ao meu orientador, Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira, uma pessoa que sempre me recebeu de forma bastante educada, zelosa e admirável educação nos momentos de dúvidas e questionamentos da realização deste trabalho. Também gostaria de manifestar os meus agradecimentos aos meus professores do mestrado, em especial ao Prof. Dr. Guilherme Valle Moura.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos concedida para o curso de mestrado.

A Evelise Elpo da Silveira e Guilherme Demos pela presteza e solicitude em sempre contribuir.

Também não poderia deixar de agradecer aos amigos do mestrado, aos momentos de alegrias e companheirismo.

Resumo

Buscar as causas geradoras dos ciclos econômicos apresentado pelos países desenvolvidos ao longo do século XX é um tema recorrente de estudo para muitos economistas. Richard M. Goodwin, apresenta em seu seminal artigo “A Growth Cycle” (1967), um modelo de crescimento econômico endógeno, onde a interação entre distribuição de renda e acumulação de capital gera flutuações macroeconômicas recorrentes que não depende da presença contínua de choques exógenos. Partindo de uma versão computacional baseada em agentes deste modelo proposta por [SILVEIRA \(2012\)](#), o presente estudo avalia a existência de ciclos goodwinianos em um modelo, em que as barganhas salariais entre firmas e sindicatos ocorrem de maneira descentralizada e a premissa de constante razão capital -produto, presente no modelo original de Goodwin é relaxada. Este estudo encontrou resultados similares aos apresentados no modelo macrodinâmico de Goodwin.

Palavras-chave: Ciclos de crescimento Goodwiniano, Modelagem baseada em agentes, Complexidade.

Abstract

Search for the causes that generate economic's cycles in developed countries throughout the XX century which has been a recurring theme of study for many economists. Richard M. Goodwin, presents in his seminal article "A Growth Cycle" (1967), an endogenous growth model, where the interaction between income distribution and capital accumulation generates macroeconomic fluctuations that does not depend on the presence of continuous's exogenous shock. Using an agent-based computational model proposed by [SILVEIRA \(2012\)](#), this study evaluates the existence of Goodwin's cycles in a model where wage bargaining between firms and employe's unions occurs in a decentralized way and the premise of constant capital- output ratio, presented in the Goodwin model is relaxed. This study obtained similars results as those of Goodwin's macrodynamic model.

Keywords: Goodwin's Growth Cycle, Agent-Based Modeling, complexity

Lista de Figuras

1.1	Curva de Phillips real	7
1.2	Um Ciclo de Crescimento Goodwiniano	11
3.1	Série histórica trimestral - período 1968:1-2011:4 (Uem) e série gerada por simulação(Um) da participação dos salários na renda	33
3.2	Série histórica trimestral - período 1968:1-2011:4 (Vem) e série gerada por simulação(Vm) da taxa de emprego da economia	33
3.3	Teste de raiz unitária para a participação do salário na renda	34
3.4	Teste de raiz unitária para a taxa de emprego	34
3.5	Teste da condição inicial para a taxa de emprego	36
3.6	Teste da condição inicial para a participação dos salários na renda	36
3.7	Média da participação dos salários em função do parâmetro taxa de inflexão (ϑ)	38
3.8	Média da taxa de emprego em função do parâmetro taxa de inflexão (ϑ)	38
3.9	Média da taxa de emprego em função do parâmetro lambda (λ)	39
3.10	Média da participação dos salários em função do parâmetro lambda (λ)	39

3.11	Média da taxa de emprego em função do parâmetro experimentação (ϵ)	40
3.12	Média da participação dos salários em função do parâmetro experimentação (ϵ)	40
3.13	Média da taxa de emprego em função do parâmetro recentidade (ϕ)	41
3.14	Média da participação dos salários em função do parâmetro recentidade (ϕ)	42
3.15	Média da taxa de emprego em função do crescimento da população	42
3.16	Média da participação dos salários em função do crescimento da população	43
3.17	Média da taxa de emprego em função da taxa de progresso técnico	43
3.18	Média da participação dos salários em função da taxa de progresso técnico	44
3.19	Teste de desemprego médio em função da razão capital- produto	45
3.20	Teste da participação dos salários médio em função da razão capital-produto	45

Sumário

Introdução	1
1 Ciclos de Crescimento Goodwinianos	4
1.1 <i>A Growth Cycle</i>	5
1.2 Extensões do Modelo	13
2 Ciclos de crescimento goodwinianos sob a perspectiva da complexidade	19
2.1 Sistemas complexos e modelagem computacional baseada em agentes: breves considerações	19
2.2 O modelo computacional baseado em agentes de referência	23
3 Modelo Goodwiniano Computacional baseado em Agentes com Flexibilidade da Razão Capital-Produto	28
3.1 Implementação computacional	29
3.2 Calibração do modelo computacional	31
3.3 Propriedades e Resultados do Modelo Goodwiniano Computacional Baseado em Agentes com Razão Capital-Produto Endógena	32
Considerações Finais	47

Introdução

Os países com economias desenvolvidas apresentaram flutuações no nível do produto em torno de uma trajetória ascendente ao longo do último século. Também foram observadas flutuações repetitivas na taxa de crescimento da atividade econômica nas séries históricas das economias de mercado. Historicamente, os estudos que investigam o crescimento e os ciclos econômicos das nações dividem-se em duas distintas áreas da literatura econômica: a teoria do crescimento econômico, que busca explicar os fatores responsáveis pela trajetória ascendente de crescimento do produto de uma economia; e a teoria dos ciclos de negócios, que busca entender as causas geradoras dos ciclos econômicos.

Por sua vez, a teoria dos ciclos de negócios pode ser dividida em duas abordagens quanto à natureza das causas geradoras dos movimentos cíclicos nas economias capitalistas: exógena ou endógena. Os modelos de ciclos exógenos abordam as flutuações macroeconômicas das economias capitalistas como desvios de um estado estacionário, resultantes de choques externos ao sistema econômico, como por exemplo, interferências estatais e choques tecnológicos. Já nos modelos de ciclos endógenos, as flutuações são geradas dentro do próprio modelo de maneira persistente, independente da ocorrência ininterrupta de choques exógenos. Como destaca [GABISCH & LORENZ \(1989\)](#), [DORE \(1993\)](#), os modelos de ciclos endógenos trazem em seu bojo alguma não-linearidade que elimina a necessidade de choques externos para explicar flutuações persistentes do produto.

Um autor que ocupa um lugar de destaque na abordagem dos ciclos endógenos é Richard M. Goodwin. Em seu seminal trabalho “*A Growth Cycle*” (1967), o autor apresenta um modelo, no qual o cerne da estrutura geradora de ciclos está na interação, por meio da barganha salarial, entre trabalhadores e capitalistas por uma maior parcela do produto total. Como salienta SILVEIRA (2003, p. 702-3):

“O caráter inovador do modelo reside na combinação de uma estrutura típica de um modelo de crescimento clássico com uma curva de Phillips real, que tenta captar a idéia de que os salários pressionam fortemente as taxas de lucro nos períodos de intensa acumulação de capital.”

Como destaca SILVEIRA (2001, p. 1-2), o modelo de Goodwin é considerado uma contribuição clássica na área da modelagem teórica dos ciclos de negócios por apresentar as seguintes características: (1) O autor faz a união de vários tópicos da teoria do crescimento e da teoria dos ciclos de negócios que até então eram desarticulados; (2) “*A Growth Cycle*” é um dos primeiros trabalhos que utiliza a teoria dos sistemas dinâmicos não lineares e o pioneiro a empregar técnicas oriundas de estudos dinâmicos de populações da Biologia à Economia ; (3) “*A Growth Cycle*” se tornou um modelo seminal, pois motivou um programa de pesquisa progressivo, que busca aferir a robustez do modelo original ao se incorporar questões como introdução do governo, progresso técnico endógeno, flexibilização da razão capital-produto, relevância empírica, etc.

No modelo de Goodwin e demais extensões do programa de pesquisa goodwiniano, poucos trabalhos propuseram uma desagregação do modelo, uma exceção é os trabalhos de SILVEBERG (1984), GOODWIN et al. (1984), SATO (1985), SILVEIRA (2001) e SILVEIRA (2012). De particular interesse para o presente trabalho é o estudo de SILVEIRA (2012), no qual se avalia a possibilidade de ciclos goodwinianos ao assumir que as barganhas salariais ocorrem de maneiras descentralizadas sob o formato de leilão du-

plo de salário entre firmas e trabalhadores.

Contudo, [SILVEIRA \(2012\)](#), assim como [GOODWIN \(1967\)](#), adota a premissa de uma razão capital-produto constante e exogenamente determinada. Entretanto, como observa [DESAI \(1973\)](#), a premissa de constância da razão capital-produto somente se verifica se há pleno emprego e não ocorrência de choques na economia. É sobre este ponto específico que a presente dissertação pretende contribuir, buscando endogeneizar a razão capital-produto na versão computacional baseada em agentes do modelo de Goodwin proposta por [SILVEIRA \(2012\)](#) e verificar o que acontece com as propriedades emergentes obtidas no referido modelo computacional.

Esta dissertação está organizada como segue. O primeiro capítulo fará uma apresentação do modelo de Goodwin e uma breve revisão das linhas de pesquisa desencadeadas por este modelo. O segundo capítulo apresentará o modelo de [SILVEIRA \(2012\)](#) tomado como referência no restante da dissertação. No terceiro capítulo será apresentado o modelo computacional baseado em agentes e a técnica de calibração empregada para obter a combinação de parâmetros, a qual será utilizada como referencial na execução de alguns experimentos computacionais que fecham o capítulo. Para concluir, termina-se a dissertação com uma síntese dos resultados alcançados e considerações de possíveis rumos de pesquisa que poderão ser tomados.

Capítulo 1

Ciclos de Crescimento Goodwinianos

Em seu seminal trabalho, “*A Growth Cycle*”, [GOODWIN \(1967\)](#) apresenta um elegante modelo macrodinâmico de inspiração clássica-marxista no qual o antagonismo entre distribuição de renda e acumulação de capital geram ciclos de crescimento econômico. Neste modelo, os ciclos não são gerados por choques externos aleatórios. Tal ciclo de crescimento é resultante da forma pela qual ciclos e crescimento se encontram ligados, resultando no princípio goodwiniano [...] *de que crescimento gera ciclos e ciclos interrompem o crescimento* ([GOODWIN & PUNZO 1987](#)).

O modelo de Goodwin é construído sobre a estrutura básica de modelos de crescimento econômico de inspiração clássica. Contudo, destaca-se a originalidade para modelar ciclos e crescimento em um simples modelo não linear e a introdução da inspiração marxista do Exército Industrial de Reserva, na medida que, embora a oferta de trabalho não mude a trajetória de crescimento ascendente, é um fator limitante do seu ritmo.

“*A Growth Cycle*” foca somente no comportamento de trabalhadores e capitalistas, não fazendo qualquer menção a importantes instituições e características das economias capitalistas, tais como o papel do Estado e o lado monetário da economia. Desta forma, embora destaque pontos importantes da dinâmica de uma

economia capitalista, não pode ser visto como uma representação abrangente do funcionamento macroeconômico de economias capitalistas. Todavia, a estrutura dinâmica central do modelo - a interação entre distribuição de renda e acumulação de capital - é um elemento importante na determinação das trajetórias macroeconômicas dessas economias.

Este capítulo fará a apresentação do modelo original de Goodwin e da linha de pesquisa desencadeada por este. Para tanto, este capítulo será composto de duas seções. Na seção 1.1, será apresentado com detalhes o modelo de ciclos de crescimento de Goodwin. A segunda seção fará uma exposição das principais extensões proposta do modelo de Goodwin, com ênfase sobre as tentativas de desagregação e flexibilização da razão capital-trabalho.

1.1 *A Growth Cycle*

Em meados da década de trinta do século passado, Goodwin tornou-se um discípulo de Harrod em Oxford, este relacionamento possibilitou a leitura da *Teoria Geral* enviada por Keynes para comentário de Harrod, bem como do livro *Trade Cycle* de autoria deste último (HARCOURT 1985, p. 414). Em *Trade Cycle*, Harrod buscava elaborar uma explicação para os ciclos de negócios a partir de uma ótica Keynesiana, baseada no mecanismo multiplicador-acelerador (SILVEIRA 2001, p. 6).

Tinbergen, em sua crítica a obra *Trade Cycle*, mostrou que a modelagem matemática utilizada por Harrod estava inadequada, a equação diferencial utilizada pelo autor seria capaz de gerar crescimento, mas não ciclos (HARCOURT 1985, p. 415). Reconhecendo a crítica de Tinbergen, Goodwin buscou novas ferramentas apropriadas para superar o problema levantado, pois estava convencido que a obra citada de Harrod possuía um conteúdo bastante relevante para esclarecer as flutuações recorrentes das economias de mercado (SILVEIRA 2001, p. 6).

A partir das aulas de Física ministradas em Harvard durante a Segunda Guerra Mundial, e do contato com Philippe Le Corbeiller, Goodwin encontrou na teoria dos osciladores a solução para a crítica de Tinbergen. Através desta teoria, Goodwin pode constatar que certas não-linearidades eram capazes de provocar ciclos sustentáveis (HARCOURT 1985, p. 416-7). Em “*A Growth Cycle*” esta não-linearidade se encontra na barreira de pleno emprego do trabalho. Quando o ritmo de acumulação de capital é forte, o número de trabalhadores empregados aumenta, o exército industrial de reserva diminui, trabalhadores ganham poder de barganha e a aceleração do salário real supera o crescimento da produtividade do trabalho, comprimindo, dessa maneira, a acumulação do capital e freando o ritmo de crescimento.

Em 1967, Goodwin produziu um dos seus maiores trabalhos, “*A Growth Cycle*”, nele o referido autor apresenta um modelo de interação entre distribuição de renda e acumulação de capital que geram ciclos de crescimento econômico. A estrutura básica deste modelo assenta-se nas seguintes premissas (GOODWIN 1967, p.54):

Premissa 1: Para a realização da produção (Y) utilizam-se somente dois insumos: trabalho (L) e capital (K), os quais são homogêneos e não-específicos. O bem produzido pode ser consumido ou utilizado como bem de capital;

Premissa 2: O progresso técnico é *Harrod-neutro*, ou seja, a produtividade média do trabalho $a = \frac{Y}{L}$ cresce a uma taxa constante $\alpha > 0$ e exogeneamente determinada, tal que² $\hat{a} = \alpha$.

Premissa 3: O crescimento da força de trabalho (N) é dada por fatores externos ao modelo, de maneira precisa, expande-se a uma taxa constante e exogeneamente determinada $\beta > 0$, ou seja, $\hat{N} = \beta$.

¹As notações originais foram adaptadas para manter uma certa homogeneidade na exposição.

²Um ponto sobre uma variável x qualquer indica sua taxa instantânea de variação, isto é, $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$. Por sua vez, o acento circunflexo sobre uma variável x qualquer indica sua taxa instantânea de crescimento, ou seja, $\hat{x} = \frac{\dot{x}}{x}$

Premissa 4: Não existe progresso técnico com relação ao capital. A razão capital-produto $\sigma > 0$ mantém-se constante ao longo do tempo, isto é, $\hat{\sigma} = 0$.

Premissa 5: Os salários dos trabalhadores são todos gastos em bens de consumos e o lucro dos empresários são todos poupados e gastos em bens de capital, ou seja, investidos;

Premissa 6: Não existe depreciação, de maneira que produto e demais variáveis macroeconômicas são expressa em termos reais e líquido;

Premissa 7: Há uma relação direta entre o crescimento do salário real $\hat{\omega}$ e a taxa de emprego $v = \frac{L}{N}$, ou seja, $\hat{\omega} = f(v)$ com $f'(v) > 0$ para $0 \leq v < 1$. Como ilustra a Figura 1.1, o salário real sofre uma aceleração na barreira do pleno emprego, ou seja, $\lim_{v \rightarrow 1^-} f(v) = +\infty$ e $\lim_{v \rightarrow 0^+} f(v) < 0$.

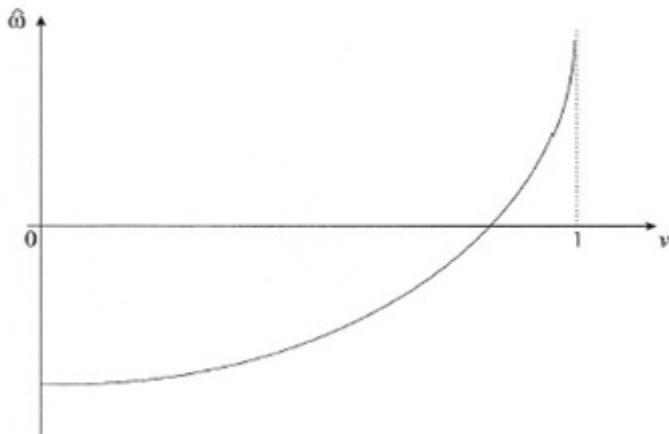


Figura 1.1: Curva de Phillips real
Fonte: Goodwin(1967, p.55)

A partir deste conjunto de premissas, [GOODWIN \(1967\)](#) desemboca no famoso sistema Predador-Presa de Lotka-Volterra, cujas variáveis de estado deixam de ser as populações de presas e predadores, passando a ser a participação dos salários na renda e a taxa de emprego. Adiante seguem os detalhes formais dessa construção teórica.

Aplicando o operador de logaritmo à definição $v = \frac{L}{N}$, e derivando a expressão resultante com relação ao tempo, tem-se:

$$\hat{v} = \hat{L} - \hat{N}. \quad (1.1)$$

Para determinar a conduta da taxa de emprego, é imprescindível estabelecer as equações de comportamento das taxas de crescimento da força de trabalho e da quantidade empregada de trabalho. Pela premissa 3, o crescimento da força de trabalho é determinada, sendo constante e igual a β , assim resta determinar a quantidade de trabalho empregada.

Aplicando-se o operador de logaritmo sobre a definição da produtividade do trabalho, mostrado na premissa 2, e derivando o resultado com relação ao tempo, obtém-se:

$$\hat{L} = \hat{Y} - \hat{a}. \quad (1.2)$$

Assim, a taxa de crescimento da quantidade de trabalhadores empregado é diretamente relacionado ao crescimento do produto e da produtividade média do trabalho. Pela premissa 2, esta última é constante e igual a α . Portanto, resta determinar a taxa de crescimento do produto.

Pela premissa 4, a razão capital-produto é constante e, portanto, a taxa de crescimento do produto é igual a taxa de crescimento do estoque de capital:

$$\hat{Y} = \hat{K}. \quad (1.3)$$

Em um dado momento, de acordo com a suposição de não especificidade e homogeneidade do trabalho (premissa 1), existe

um único salário real na economia. Desta forma, a participação do salário na renda pode ser definida como:

$$u = \frac{\omega L}{Y}. \quad (1.4)$$

De acordo com a premissa 5, toda massa de lucro é igual à poupança. Assim, com base em (1.4), pode-se chegar a:

$$S = Y - \omega L = (1 - \frac{\omega L}{Y})Y = (1 - u)Y. \quad (1.5)$$

Poupança e investimentos agregados sempre se igualam, isto é, $S = I$. As variáveis estão expressas em termos líquidos, premissa 6, de tal forma que as variações em termos absolutos do estoque de capital é igual ao volume de investimento, $\dot{K} = I$. Considerando (1.5), a variação do estoque de capital, é expressa por:

$$\dot{K} = (1 - u)Y. \quad (1.6)$$

Multiplicando ambos os lados da equação (1.6) por $\frac{1}{\sigma}$ e empregando a premissa 4, tem-se a taxa de crescimento do estoque de capital:

$$\hat{K} = \frac{1}{\sigma}(1 - u). \quad (1.7)$$

Dada a identidade em (1.3), pode-se inserir (1.7) em (1.2), o que, juntamente com a premissa 2, permite expressar a taxa de crescimento da quantidade de trabalho empregado como:

$$\hat{L} = \frac{1}{\sigma}(1 - u) - \alpha. \quad (1.8)$$

Por fim, inserindo a suposição 3 e a função (1.8) em (1.1), resulta na equação diferencial que governa a taxa de emprego no modelo de Goodwin.

$$\hat{v} = \frac{1}{\sigma}(1 - u) - (\alpha + \beta). \quad (1.9)$$

A equação (1.9) apresenta as seguintes relações entre as variáveis. Um aumento da participação dos salários reduz a rentabilidade do capital, diminuindo o ritmo de crescimento do investimento e, portanto, do produto. Logo, a taxa de crescimento do emprego diminui.

Resta analisar os determinantes da participação do salário na renda. A produtividade média do trabalho é $a = \frac{Y}{L}$ (premissa 2), assim pode-se reescrever a equação (1.4) como segue:

$$u = \frac{\omega}{a}. \quad (1.10)$$

Aplicando o operador de logaritmo na equação (1.10), e derivando o resultado com relação ao tempo, resulta:

$$\hat{u} = \hat{\omega} - \hat{a}. \quad (1.11)$$

A partir das premissas 2 e 7, a taxa de crescimento da participação dos salários na renda pode ser expressa como segue:

$$\hat{u} = f(v) - \alpha. \quad (1.12)$$

Goodwin trabalha de fato com uma aproximação linear da função barganha na vizinhança do pleno emprego ($v = 1$), a saber:

$$f(v) = -\gamma + \rho v, \text{ com } \gamma > 0 \text{ e } \rho > 0, \quad (1.13)$$

com $\gamma > 0$ e $\rho > 0$ constantes.

Introduzindo (1.13) em (1.12), chega-se a outra equação diferencial do modelo de Goodwin.

$$\hat{u} = -(\alpha + \gamma) + \rho v. \quad (1.14)$$

A equação (1.14) apresenta a relação entre distribuição de renda e taxa de emprego. Uma maior (menor) taxa de emprego acarreta um aumento (diminuição) no poder de barganha dos trabalhadores e, por conseguinte, uma maior (menor) participação dos salários

na renda.

O sistema formado pelas equações diferenciais (1.9) e (1.14) geram ciclos de crescimento, cujas fases de expansão e recessão se alternam conforme ilustrado na Figura 1.2.

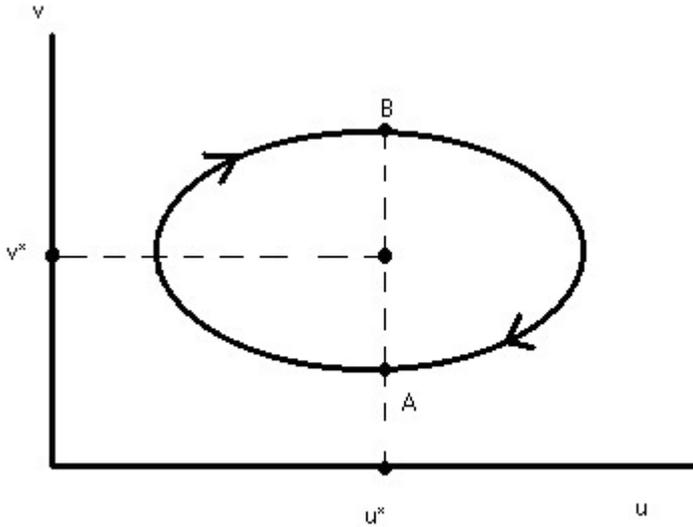


Figura 1.2: Um Ciclo de Crescimento Goodwiniano
Fonte: Goodwin(1967)

Na fase de expansão (movimento de A para B) o ritmo de acumulação de capital supera o ritmo do progresso técnico poupador de trabalho e o crescimento da força de trabalho, devido à baixa participação do salário na renda. Assim, a taxa de emprego aumenta e o exército de reserva diminui. O poder de barganha dos trabalhadores sofrerá contínuos aumentos, o que gera aumentos

salariais acima dos ganhos de produtividade e reduções da participação dos capitalistas na renda e conseqüentemente uma queda nas taxas de lucros. Em certo momento a taxa de lucro alcança um patamar tão baixo que o ritmo de acumulação de capital passa a ser superado pelo progresso técnico poupador de trabalho e pelo crescimento da população. É neste instante que inicia a fase de recessão (movimento de B para A). A quantidade empregada de trabalho não acompanha o crescimento da população e da produtividade, devido a redução do ritmo de acumulação de capital, assim, a taxa de emprego começa a reduzir e ocorre uma expansão no número de trabalhadores desempregados o que acarretará um enfraquecimento do poder de barganha dos trabalhadores e uma persistente expansão na participação dos capitalistas na renda nacional e aumento da taxa de lucro. Este processo se desenrola até a economia alcançar um alto patamar na taxa de lucro e o ritmo de acumulação de capital passe a superar novamente o progresso técnico poupador de trabalho e o crescimento da população, seguindo-se o ciclo.

Como destacado em [SILVEIRA \(2001, p. 24\)](#), o mecanismo gerador de ciclos anteriormente descrito é para Goodwin, uma característica importante da macrodinâmica cíclica das economias capitalistas. Aumentos na rentabilidade conduzem à aceleração da acumulação de capital e da taxa de emprego. Isto, por sua vez, leva a um aumento do poder de barganha dos trabalhadores, o que gera expansões da participação dos salários na renda e reduções da taxa de lucro, levando à desaceleração da acumulação de capital e da taxa de emprego, enfraquecendo o poder de barganha dos trabalhadores e recuperando a taxa de lucro.

Finalizando, é importante registrar duas propriedades do modelo de Goodwin que serão tomadas como referência na subseção 3.3, onde avaliar-se-á os resultados gerados pelo modelo computacional baseado em agentes a ser desenvolvido neste estudo. Primeiramente, o sistema composto pelas equações (1.9) e (1.14) não é positivamente invariante, ou seja, as variáveis centrais do modelo, a taxa de emprego e a participação dos salários na renda, podem

assumir valores maiores que um durante algumas fases de um ciclo, a depender dos valores iniciais destas variáveis e/ou dos valores dos parâmetros do modelo.

Outra propriedade diz respeito a uma conclusão quantitativa do modelo. Independente do estado inicial da economia, esta apresentará valores médios constantes da participação dos salários na renda (\bar{u}) e da taxa de emprego (\bar{v}) para uma dada configuração de valores dos parâmetros. Portanto, cabe ressaltar, que os valores médios das variáveis analisadas são os próprios valores de equilíbrio do modelo. Por fim, conforme [GOODWIN \(1967\)](#), a média da participação dos salários na renda se reduz (aumenta) caso a razão capital-produto, a taxa de crescimento populacional e/ou a taxa de progresso técnico aumente (se reduza). Por sua vez, a média da taxa de emprego se reduz (aumenta) se a taxa de progresso técnico se reduzir (aumentar) ou se a função barganha se mova para baixo (cima), ou seja, se o parâmetro γ diminua (aumenta). Ademais, a sensibilidade do salário real na vizinhança do pleno emprego, parâmetro ρ , afeta negativamente a média da taxa de emprego.

1.2 Extensões do Modelo

O modelo original de Goodwin tornou-se um clássico na área de ciclos econômicos. Vários autores têm se debruçado sobre diferentes aspectos deste modelo, tipicamente relaxando uma ou mais premissas do modelo original, adicionado variáveis para criar um modelo mais realista ou testando empiricamente os parâmetros do modelo goodwiniano.

Uma das linhas de análise deste modelo é o exame do problema da instabilidade estrutural do modelo. Trabalhos como o de [VELUPILLAI \(1979\)](#), [FLASCHEL \(1984\)](#), [GOODWIN et al. \(1984\)](#), [SEMMLER \(1986\)](#) e [GOODWIN \(1990\)](#), avaliaram este problema. A conclusão geral alcançada por estes autores é que o sistema goodwiniano apresenta instabilidade local, isto é, o estado estacionário nunca é alcançado, porém, em nível global o modelo

é estável, a medida que, as variáveis chaves do modelo (taxa de emprego, participação dos salários na renda) nunca explodem, em outras palavras, não seguem rumo ao infinito.

Outra linha de pesquisa em ciclos goodwinianos é a de autores que não aceitam a utilização da curva de *Phillips* real utilizada originalmente por Goodwin. Para substituir a curva de *Phillips* real, utilizam-se de elementos pós-keynesianos, tais como ilusão monetária, formação de preços por *mark-up*. Esta linha de pesquisa reúne autores como [DESAI \(1973\)](#), [FLASCHEL & KRUGER \(1984\)](#) e [ASADA et al. \(2003\)](#). Neste grupo de trabalho, os pesquisadores encontraram que políticas fiscais e monetárias podem estabilizar uma economia que se encontra em estado instável no modelo goodwiniano.

Além destes trabalhos citados dentro de suas grandes áreas, existem trabalhos que tratam de temas bem específicos, como [CHOI \(1995\)](#) que altera no modelo de Goodwin a premissa de que a produtividade do trabalho cresce a uma taxa exógena e constante pela hipótese de salário eficiência, ou seja, um modelo no qual leva-se em conta o impacto de alterações do salário real sobre o nível de empenho dos trabalhadores. O resultado encontrado é que ciclos de crescimento somente existe se os esforços dos trabalhadores não depender da taxa de salário real, assim, ciclos de crescimento ocorrem somente se o esforço do trabalhador decresce quando a taxa de salário aumenta.

Outro grupo de trabalho avalia questões ligadas à tecnologia, tais como [DESAI \(1973\)](#) e [PLOEG \(1985\)](#). Este grupo de autores relaxa a hipótese goodwiniana de constância da razão capital-produto. Em seu estudo, [DESAI \(1973\)](#) propôs uma extensão do modelo original de Goodwin ao relaxar a premissa de uma razão capital-produto exogenamente determinada e constante, de tal forma que o valor desta razão seria dado pela relação entre a “verdadeira” razão capital-produto (σ) e a taxa de emprego da economia v . A extensão proposta por [DESAI \(1973, p. 536-539\)](#) é justificada como segue:

“Haverá variabilidade cíclica em σ especialmente se K for uma medida de estoque, desde que em épocas de desemprego o excesso de capacidade tenderá a elevar o σ observado acima do 'verdadeiro' σ^* "(tradução própria).

Em outras palavras, o estoque de capital observado em uma economia, ao sofrer variações no decorrer dos ciclos, altera a razão capital-produto específica de cada empresa, o que torna a tecnologia mais solowiana do que harrodiana. Para captar este efeito do nível de atividade sobre a razão capital-produto observada, [DESAI \(1973, p. 536\)](#) utilizou-se da seguinte função:

$$\sigma = \sigma^* v^{-\mu}, \quad (1.15)$$

sendo σ a verdadeira razão capital-produto empregada pela firma e $\mu \geq 0$ um parâmetro de sensibilidade que mede quanto a taxa de emprego afeta a razão capital-produto. Salienta-se que para $\mu = 0$, a razão capital-produto será constante, retornando ao modelo original de [GOODWIN \(1967\)](#).

O resultado alcançado por Desai é que o modelo é estável somente quando μ for igual ou inferior a um, para valores acima de um, o sistema torna-se instável. Segundo [DESAI \(1973, p. 539\)](#), um valor de μ superior a unidade significa que cada aumento percentual na taxa de desemprego afeta fortemente a razão capital-produto, que por sua vez, reduz a taxa de investimento, dada por (1.7).

Outra série de estudos em ciclos goodwinianos é a de autores que realizaram estudos empíricos nos parâmetros do modelo. O resultado alcançado pela maior parte dos trabalhos realizados é uma forte presença das características goodwinianas, isto é, um aumento (redução) na participação do salário é seguido de uma redução (aumento) na taxa de emprego das economias estudadas. Nesta linha de pesquisa encontra-se autores como [GOLDSTEIN \(1999\)](#), [HARVIE \(2000\)](#) e [TARASSOW \(2010\)](#). Diante da sua importância para o presente trabalho, o estudo de Harvie “*Testing Goodwin: Growth Cycles in Ten OECD Countries*” será destacado.

[HARVIE \(2000\)](#) utiliza dados de dez países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para testar os parâmetros do modelo de Goodwin empiricamente. Para a elaboração do estudo, o autor utilizou-se de algumas definições, as quais serão apresentadas a seguir: a participação do salário na renda, definida como a fração da soma de salários sobre o Produto Interno da Economia (PIB); a taxa de emprego, obtida pelo número de trabalhadores empregados dividido pela força de trabalho; a produtividade do trabalho, dada pelo PIB real por trabalhador; e uma curva de Phillips do salário real, obtida como uma relação estimada entre a taxa de emprego vigente e a defasagem de um período no salário real. Posteriormente, o modelo é estimado e o autor conclui que a nível quantitativo as variáveis encontradas não remetem a ciclos goodwinianos, pois os parâmetros estimados não condizem com o centro dos ciclos, porém, a nível qualitativo, existe antagonismo entre taxa de emprego e participação dos salários, indicando presença de ciclos goodwinianos. Tal conclusão é exposta nas palavras de [HARVIE \(2000, p. 363\)](#) como segue:

“A discrepância entre a taxa de emprego estimada (u^*) e a taxa de emprego observada (u) é evidente, exceto para a taxa de emprego na Alemanha. Apesar da sua semelhança qualitativa para a trajetória empírica, o modelo é inadequado a nível quantitativo. Dado a natureza do modelo teórico que está sendo testado, o resultado não é surpreendente” (tradução própria).

Por fim, cabe citar outra linha de pesquisa em ciclos goodwinianos, para a qual o presente estudo pretende contribuir, formada por autores que sugeriram versões desagregadas do modelo inicialmente proposto em "*A Growth Cycle*".

[SATO \(1985\)](#) elabora um modelo econômico constituído por dois setores. Tal fato implica o abandono da existência de um único bem que pode ser utilizado como bem de consumo ou bem de capital. Para a realização deste trabalho, Sato emprega a estrutura departamental de Marx, como proposto em [GOODWIN](#)

et al. (1984). Assim, o processo de interligação insumo-produto é o único canal de interdependência entre os setores da economia. O resultado encontrado neste trabalho, é de que as características dinâmicas do modelo bissetoriais são influenciadas pela quantidade relativa de capital empregada entre os setores do sistema econômico. Assim, os ciclos de crescimento emergentes não são mais uma propriedade geral deste modelo, mas dependem das relações capital-trabalho nos dois setores.

O trabalho de SILVEBERG (1984) faz uso de um modelo de dois setores com a possibilidade de heterogeneidade da taxa de lucros. Neste modelo, o autor investiga o processo de substituição de uma tecnologia de produção por outra, gerada por uma inovação exógena. O resultado encontrado pelo citado autor é de que durante a dinâmica de substituição tecnológica há um diferencial na taxa de lucros que emerge da utilização de tecnologias diferentes e geram ciclos de substituição divididos em duas fases. Na primeira fase observa-se que o salário real apresenta uma pequena tendência ascendente com oscilações intensas, ao mesmo tempo, a taxa de lucro exibe uma forte tendência ascendente com flutuações suaves. Posteriormente, na fase final do ciclo de substituição, a taxa de lucro apresenta uma queda contínua, enquanto os salários crescem com trajetória ascendente e não apresentam comportamento oscilatório.

SILVEIRA (2003) investiga a ocorrência de ciclos goodwinianos com salários e lucros heterogêneos num ambiente de racionalidade limitada e concorrência entre os trabalhadores. Para elaborar o processo de concorrência entre os trabalhadores, Silveira utiliza dois recursos: i) a “alegorias das ilhas”, a fim de simular situações de informações imperfeitas; e ii) Teoria dos jogos evolucionários aplicado a ambientes sociais. Ao introduzir a “alegoria das ilhas” em seu modelo, o autor supõe que o sistema econômico é formado por duas ilhas as quais produzem o mesmo bem, com a mesma tecnologia, mas distinto salário real e taxa de lucro para os mercados de trabalho. Partindo da hipótese que os trabalhadores preocupam com o nível de salário relativo e à existência de informação assimé-

trica, os trabalhadores seguem um processo de imitação simples, estabelecendo assim um fluxo migratório de trabalhadores entre as ilhas. Por fim, o autor conclui que existe a possibilidade de o sistema econômico convergir para um ciclo goodwiniano com heterogeneidade de salários e taxa de lucro.

O trabalho de [SILVEIRA \(2012\)](#) busca analisar a possibilidade de ciclos goodwinianos em uma economia com barganhas salariais descentralizadas. Dado a importância deste trabalho, o próximo capítulo apresentará o modelo elaborado pelo autor.

Capítulo 2

Ciclos de crescimento goodwinianos sob a perspectiva da complexidade

O presente capítulo irá descrever a estrutura sobre a qual se fundamenta o modelo computacional baseado em agentes que será proposto no próximo capítulo. Inicialmente, na seção 2.1, mostra-se as principais características do que convencionalmente se denomina sistemas complexos, bem como uma exposição dos principais traços da técnica de modelagem computacional baseada em agentes. Em seguida, na seção 2.2, apresenta-se uma interpretação dos ciclos de crescimento goodwinianos como um fenômeno emergente de um mercado de trabalho exposto em sistema complexo, proposta recentemente por [SILVEIRA \(2012\)](#).

2.1 Sistemas complexos e modelagem computacional baseada em agentes: breves considerações

[OSTROM \(1988\)](#) propõe três diferentes vias para analisar e inferir relações desencadeadas nas ciências sociais, a saber: ar-

gumentação verbal, modelagem matemática baseada em equações (convencional) e simulação computacional (baseada em agentes). Na argumentação verbal, os eventos passados são a principal forma para entender e manipular os eventos presentes. Na abordagem matemática convencional, utiliza-se de modelos para solucionar os problemas. Porém, tais modelos tem a desvantagem de fazer premissas simplificadoras para viabilizar a representação dos fenômenos sociais em equações matemáticas, entre estas premissas, pode-se citar a racionalidade perfeita dos indivíduos. Por fim, os modelos computacionais são utilizados para modelar processos e teorias sociais.

Nos últimos anos, os modelos computacionais baseados em agentes, *agents based models*, ganharam relevância nas investigações e análises econômicas. De acordo com [LEBARON \(1999\)](#), pode-se creditar esse progresso à possibilidade de superar as limitações inerentes dos métodos analíticos. Entre as vantagens da modelagem computacional, cita-se: a facilidade com que é possível limitar a racionalidade dos indivíduos; a possibilidade de incluir heterogeneidade entre os agentes presentes no modelo; e a possibilidade de gerar um histórico integral das interações dinâmicas do processo em estudo.

As modelagens matemáticas convencionais são fortemente embasadas na teoria neoclássica. Como destaca [ARTHUR et al. \(1997\)](#), é recorrente nesta abordagem a utilização de um controlador global absoluto da dinâmica do sistema, o leiloeiro walrasiano, bem como, propriedades de eficiência, unicidade, estabilidade, racionalidade plena com o propósito de alcançar existência e unicidade de pontos de equilíbrio agregados.

Reconsiderações e questionamentos têm sido realizados neste tipo de abordagem ao longo dos últimos anos. [ARROW \(1987\)](#) questiona a validade e utilização do indivíduo econômico dotado de racionalidade plena na microeconomia walrasiana, quer por sua plausibilidade lógica quer pela vulnerabilidade dos resultados teóricos. [KIRMAN \(1997\)](#) defende a substituição do agente lógico-dedutivo da teoria neoclássica por agentes adaptativos, intelligen-

tes, hábeis a aprender e evoluir. Outra modificação estrutural desses modelos seria a presença de padrões de interação social não intermediada entre os agentes econômicos e a evolução desse padrão de interação social ao longo do tempo (KIRMAN 1997).

Diante disso, uma nova abordagem teórica para a Ciência Econômica está se consolidando, os chamados modelos de processos complexos com dinâmicas emergentes. Estes modelos buscam abordar a evolução dos sistemas e a geração de macro-estruturas a partir de comportamentos microsociais simples.

ARTHUR et al. (1997, p. 3-4) listam algumas propriedades definidoras da abordagem da complexidade: (1) as interações sociais ocorrem de forma dispersa entre agentes econômicos heterogêneos e adaptativos; (2) essas interações são coordenadas por normas, instituições e organizações que são formadas endogenamente, de modo que não haja qualquer instância global e externa de controle; (3) o sistema econômico tem regularidades agregadas emergentes e é constituído por vários níveis hierárquicos de coordenação; (4) novidades surgem continuamente no sistema econômico; (5) e esse, conseqüentemente, encontra-se em contínuo processo de adaptação; e (6) opera fora do equilíbrio, com possibilidades de ganhos de bem-estar.

FREITAS (2003, p.14) destaca três propriedades fundamentais dos sistemas complexos, a saber: (i) tais sistemas são compostos por inúmeros agentes heterogêneos capazes de aprender e adaptar-se às mudanças do ambiente em que estão inseridos; (ii) os agentes interagem diretamente, por mecanismo de *feedback* que afetam suas escolhas; e (iii) apresentam padrões de auto-ordenamento e estruturas emergentes de um para outro nível hierárquico superior.

Para estudar os sistemas complexos e suas características, utiliza-se a Metodologia Computacional Baseada em Agentes (MBA). De acordo com MACAL & NORTH (2006), as principais características dos agentes na MBA são: (1) os agentes são independentes e possuem um conjunto de características e regras que governam seus comportamentos e capacidade de decisão; (2) os agentes inte-

ragem com os demais agentes através da comunicação e possuem capacidade para responder ao ambiente, no entanto, os agentes que estão próximos sofrem maior interação e influência do que os agentes estão mais distantes;¹ (3) os agentes são flexíveis, tendo habilidade para apreender e adaptar seu comportamento baseado na experiência adquirida; e (4) os agentes são autônomos e auto-dirigidos.

Dentre as características citadas acima, cabe destacar a autonomia dos agentes, é esta característica que permite ao agente mudar a sua regra de comportamento a partir de um aprendizado obtido nas experiências passadas. Portanto, os “agentes autônomos” possuem inteligência artificial que os direciona aos seus objetivos (FRANKLIN 1997).

Na MBA, o modelador especifica o estado inicial do sistema econômico ao atribuir para cada agente o seu valor inicial, bem como, o método de comportamento e as regras de interação. Assim, a partir de uma condição inicial dada, o resultado final é espontâneo, imprevisível e não intencional, cujo comportamento decorreu da conjunção dos processos de adaptação e interação entre os agentes.

Diversos são os trabalhos em áreas distintas que têm utilizado a MBA. Esta nova abordagem tem desenvolvido uma ampla literatura multidisciplinar, por exemplo, jogos populacionais, (BLUME 1993), (CHIAPPIN 1997), modelos cognitivos de racionalidade limitada (SIMON 1976) aplicados à análise do comportamento investidor (SHILLER 2000), modelos de algoritmos genéticos (HEGSELMANN & FLACHE 1998) e modelos de mercado de trabalho (FOLEY 1994).

Em particular, o modelo de características complexas a ser analisado neste trabalho é o apresentado em SILVEIRA (2012), cujo propósito foi avaliar a presença de ciclos goodwinianos em

¹Ressalta-se que o conceito de vizinhança pode ser aplicado em sentido mais amplo. Assim, a vizinhança pode ser definida como dois agentes que partilhem de determinada proximidade sócio-econômica, mas não necessariamente geográfica.

uma economia com barganhas salariais descentralizadas. Diante da importância deste trabalho para o presente estudo, o citado modelo será apresentado em detalhes adiante.

2.2 O modelo computacional baseado em agentes de referência

SILVEIRA (2012) propõe um modelo goodwiniano com barganhas salariais descentralizadas entre firmas e sindicatos de trabalhadores. Mais precisamente, no sistema econômico analisado pelo referido autor há um mercado de trabalho interno a cada firma, onde os trabalhadores negociam diretamente com os gestores de suas respectivas firmas os salários reais. Nesta economia existem F firmas, as quais produzem um bem homogêneo e utilizam a seguinte tecnologia Leontief:

$$Y_j(t) = \text{Min} \left\{ \frac{K_j(t)}{\sigma}, a(t)L(j) \right\}, \text{ com } 1, 2, 3, \dots, F. \quad (2.1)$$

sendo $Y_j(t)$ a produção, K_j a quantidade capital utilizada na produção, $L_j(t)$ a quantidade empregada de trabalho e a a produtividade média do trabalho (razão produto-trabalho) da j -ésima firma no período t . A razão capital-produto σ é suposta constante e exogenamente determinada.

Cada firma j converte toda a sua massa de lucro em investimento e o capital utilizado por estas firmas não se deprecia. Assim, a taxa de lucro da j -ésima firma no período $t - 1$ é dada por:

$$\rho_j(t-1) = \frac{Y_j(t-1) - \omega_j(t-1)L_j(t-1)}{K_j(t-1)} = \frac{1}{\sigma} \left[1 - \frac{\omega_j(t-1)}{a(t-1)} \right], \text{ com } 1, 2, 3, \dots, F. \quad (2.2)$$

A taxa de crescimento do estoque de capital da firma j no período $t-1$ para o período t é determinado pela taxa de lucro da firma j no período $t-1$

$$K_j(t) = [1 + \rho(t-1)] K_j(t-1), \text{ com } 1, 2, 3, \dots, F. \quad (2.3)$$

Como em [GOODWIN \(1967\)](#), o sistema econômico é limitado pelo tamanho da força de trabalho. Assim, considerando a tecnologia *Leontief* (2.1), a quantidade de trabalho empregado em cada firma $j=1,2,3\dots$ F é dada por:

$$L_j(t) = \begin{cases} \frac{1}{a\sigma} K_j(t) < a\sigma N_j(t) \\ N_j(t) \text{ caso contrário,} \end{cases} \quad (2.4)$$

sendo $N_j(t)$ o número de trabalhadores vinculados ao sindicato j no período t .

Todos os sindicatos crescem a uma taxa constante, $\beta > 0$, ou seja:

$$N_j(t) = (1 + \beta)N_j(t - 1), \text{ com } 1,2,3,\dots F. \quad (2.5)$$

A recompensa (payoff) do sindicato j no período t é o resultado do acordo salarial alcançado no período vigente e a quantidade de trabalhadores empregados pela firma j . Assim, a recompensa do sindicato j é expressa por:

$$\frac{L_j(t)\omega_i(t)}{N_j(t)}. \quad (2.6)$$

No início de cada período $t = 1,2,3,\dots$, antes de se realizar a produção, firmas e seus respectivos sindicatos de trabalhadores entram em um processo de barganha salarial para negociar os salários vigentes naquele período. Assim, as firmas apresentam sua oferta salarial $w_{j,m''}^o(t)$ e os sindicatos de trabalhadores sua demanda salarial $w_{j,m'}^d(t)$. Todavia, só há acordo salarial possível, se $w_{j,m'}^d(t) \leq w_{j,m''}^o(t)$. Logo, o acordo salarial observado no fim da barganha do período t é qualquer valor compreendido entre a demanda e a oferta salarial. Os acordos salariais possíveis formam o seguinte conjunto:

$$A_j(t) = \{x \in \mathbb{R}_+ : w_{j,m'}^d(t) \leq w_{j,m''}^o(t)\}. \quad (2.7)$$

Como em [GOODWIN \(1967\)](#), o acordo salarial observado em

cada período de tempo, depende do tamanho do exército industrial de reserva para seu respectivo período. Para conseguir captar esta relação, SILVEIRA (2012, p. 13) utilizou-se da seguinte função sigmóide da taxa de emprego da economia:

$$g(v(t)) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(v(t)-\vartheta)}}. \quad (2.8)$$

com parâmetros $\lambda > 0$ e $0 < \vartheta < 1$. A função sigmóide apresenta a seguinte propriedade: o ponto $g(0) = \frac{1}{1+e^{\lambda\vartheta}} > 0$ pode ser obtido tão próxima de zero quanto se desejar, bastando fixar um λ suficientemente grande para um dado um valor de ϑ . De modo simétrico, o ponto $g(1) = \frac{1}{1+e^{-\lambda(1-\vartheta)}} < 1$ pode ser tão próximo de um quanto se queira, bastando fixar um alto valor de λ para um dado ϑ . Portanto, observa-se que quanto maior o valor de λ maior será a imagem $g(v(t))$.

Com base na função sigmóide (2.8), torna-se possível particionar o conjunto de acordos possíveis (2.7) em dois subconjuntos de acordos salariais inferiores e superiores, respectivamente:

$$A_j^i(t) = \{x \in A_j(t) : \omega_{j,m'}^d(t) \leq x \leq [1 - g(v(t))] \omega_{j,m'}^d(t) + g(v(t)) \omega_{j,m''}^o(t)\}. \quad (2.9)$$

$$A_j^s(t) = \{x \in A_j(t) : [1 - g(v(t))] \omega_{j,m'}^d(t) + g(v(t)) \omega_{j,m''}^o(t) \leq x \leq \omega_{j,m''}^o(t)\}. \quad (2.10)$$

No algoritmo computacional cada agente j escolhe sua proposta salarial em t , com base na seguinte regra: após gerar um número aleatório $n(t) \in [0,1]$ compara-se este número com $g(v(t))$; se $n(t) \leq g(v(t))$, escolhe-se aleatoriamente um salário $w_{j,m''}^o$ no subconjunto $A_j^s(t)$, caso contrário, escolhe-se um $w_{j,m'}^d$ no subconjunto $A_j^i(t)$.

O processo das revisões salariais ocorre entre o fim do período t e o período $t+1$. Neste período, firmas e sindicatos avaliam os desempenhos passados de suas estratégias no fim de cada período t e buscam as estratégias que lhe oferecem as melhores recompensas dentro dos acordos salariais possíveis no período $t+1$. Neste processo adaptativo, os agentes utilizam do mecanismo de

aprendizado por reforço para reavaliar e escolher a melhor estratégia.

No processo de aprendizagem por reforço, como destacam [ROTH & EREV \(1995, p. 165\)](#) uma estratégia de decisão que apresentou uma recompensa positiva no período t , têm sua probabilidade de ser escolhida no período $t+1$ reforçada. Entretanto, caso o resultado do *payoff* tenha sido indesejável no período t , a probabilidade desta estratégia ser escolhida no período $t+1$ é enfraquecida. Este mecanismo de aprendizagem possui duas características importantes na formação de conhecimento humano, a saber, a lei do efeito (*law of effect*), estratégias que apresentaram bons resultados no passado tem maior probabilidade de serem utilizadas no presente, e a lei de potência da prática (*power law of practice*), no início do processo de aprendizagem, a obtenção do conhecimento se dá a taxas crescentes, mas em períodos subseqüentes esta taxa decresce ([ROTH & EREV 1995, p. 171-172](#)).

Todavia, como salienta [ROTH & EREV \(1995\)](#) e [EREV & ROTH \(1998\)](#), nos cenários onde múltiplos jogadores interagem, as leis do efeito e de potência da prática não são suficientes para captar a sensibilidade das decisões tomadas pelos agentes no processo. Desta forma, adicionam-se dois mecanismos de aprendizado, a saber, efeito recentidade (*recency effect*), o qual é a interação entre a lei do efeito e a lei de potência na prática, no efeito recentidade as estratégias recentes tem maior importância na tomada de decisão dos agentes do que as estratégias utilizadas no passado e o efeito experimentação (*experimentation effect*), não só as estratégias utilizadas no passado que apresentaram bom resultado serão repetidas, mas também as estratégias parecidas.

Embasando-se nos quatros mecanismos de aprendizados acima, [SILVEIRA \(2012, p.17\)](#) propõe que os sindicatos utilizam a seguinte função de atualização da propensão de escolha $q_{j,m}^s(t)$ em cada rodada de negociação:

$$q_{j,m}^s(t) = (1 - \phi)q_{j,m}^s(t - 1) + E^s(j, m, m', M, \epsilon, t - 1), \quad (2.11)$$

de forma similar, em cada rodada de negociação, as firmas atualizam sua propensão de escolha $q_{j,m}^f(t)$, baseado em:

$$q_{j,m}^f(t) = (1 - \phi)q_{j,m}^f(t-1) + E^f(j, m, m', M, \epsilon, t-1), \quad (2.12)$$

sendo ϕ o parâmetro de recentidade, ϵ o parâmetro de experimentação, $E^s(\cdot)$ e $E^f(\cdot)$ as funções de atualização da propensão de escolha, calculadas com base nas experiências adquiridas nas barganhas salariais passadas.

A função de atualização das propensões de escolha do j -ésimo sindicato é definida como segue:

$$E^s(j, m, m', M, \epsilon, t-1) = \begin{cases} (1-\epsilon) R_{j,m'}^s(t-1), & \text{se } m = m' \\ \frac{\epsilon}{M-2} q_{j,m'}^s(t-1), & \text{se } m \neq m'. \end{cases} \quad (2.13)$$

De maneira similar, a função de atualização das propensões da escolha da j -ésima firma é expresso como segue:

$$E^f(j, m, m'', M, \epsilon, t-1) = \begin{cases} (1-\epsilon) R_{j,m''}^f(t-1), & \text{se } m = m'' \\ \frac{\epsilon}{M-2} q_{j,m''}^f(t-1), & \text{se } m \neq m''. \end{cases} \quad (2.14)$$

Pela função de atualização da propensão de escolhas das firmas e sindicatos, pode-se inferir que dado uma estratégia que resulte em um retorno positivo no período t , a proposta m' ou m'' , terá sua propensão de escolha ampliada para o período $t+1$, pois o reforço do payoff estritamente positivo, descontado o efeito experimentação, tende a superar o fator de contração $(1 - \phi)$. Todavia, se a estratégia selecionada m' ou m'' resultar em recompensa nula no período t , sua propensão de escolha será reduzida à proporção $(1 - \phi)$ no período $t+1$ e as demais propostas serão reduzidas a proporção $(1 - \phi^*)$. Como $(1 - \phi^*) > (1 - \phi)$, a probabilidade de selecionar uma proposta não escolhida eleva-se relativamente a probabilidade de selecionar a mesma proposta do período t , assim, o tomador de decisão tende a se afastar da proposta que gerou recompensa nula.

Capítulo 3

Modelo Goodwiniano Computacional baseado em Agentes com Flexibilidade da Razão Capital-Produto

Uma característica distintiva do sistema capitalista e superior a qualquer sistema econômico é sua grande capacidade de expansão. Entretanto, ao longo do século XX observou-se que o crescimento econômico das economias capitalistas desenvolvidas ocorreu de forma não uniforme, tendo sido marcado por flutuações persistentes e irregulares nas atividades produtivas (investimento, emprego, produto), bem como nas atividades financeiras (taxas de juros, endividamento).

Um dos autores que buscou explicações para as causas geradoras das flutuações econômicas foi Richard M. Goodwin. Como visto no capítulo 1 do presente trabalho, em “*A Growth Cycle*”, Goodwin apresentou um modelo de ciclo de crescimento econômico endógeno, no qual o conflito por uma maior parcela do produto entre trabalhadores e capitalistas é capaz de gerar flutuações recorrentes em torno de médias constantes da taxa de emprego e da participação do salário na renda.

Em “*A Growth Cycle*”, como já exposto, a razão capital-produto é, por hipótese, exogenamente determinada e constante.

No presente capítulo propõe-se uma extensão do modelo de [SILVEIRA \(2012\)](#), na qual a razão capital-produto passa a ser endógena.

Inicialmente, na seção 3.1, revisa-se a premissa utilizada por [DESAI \(1973\)](#), que especifica uma relação inversa entre a razão capital-produto e a taxa de emprego, a qual substituirá a premissa de uma razão capital-produto exógena e constante utilizada na versão original de [GOODWIN \(1967\)](#), bem como na versão computacional baseada em agentes proposta por [SILVEIRA \(2012\)](#). Esta premissa de Desai será introduzida no modelo computacional baseado em agentes desenvolvido por este último, gerando um modelo computacional estendido. Ainda na seção 3.1, será descrita a sistemática da implementação computacional deste modelo estendido. Em seguida, na seção 3.2, será apresentada a calibragem dos principais parâmetros do modelo computacional goodwiniano baseado em agentes com razão capital-produto endógena. Por fim, na seção 3.3, realizar-se-á a análise dos dados gerados nas simulações computacionais.

3.1 Implementação computacional

Do modelo computacional proposto por Silveira apresentado na seção 2.2 emergiram resultados próximos aos observados empiricamente e compatíveis com o respectivo comportamento deduzido no modelo original de Goodwin, onde o conflito entre trabalhadores e capitalistas é capaz de gerar oscilações na taxa de emprego e participação dos salários. Todavia, para a construção do modelo, assim como em Goodwin, o autor considera a razão capital-produto (σ) como constante.

Diante disto, a motivação para o presente estudo é flexibilizar a razão capital-produto e analisar os resultados emergentes. Ao se considerar que uma redução (aumento) na taxa de emprego ocasiona queda (elevação) da produção, a razão capital-produto deixa de ser constante. Uma vez que esta razão afeta a taxa de inves-

timento, busca-se inferir o efeito da alteração desta razão no modelo computacional. Portanto, embasando-se em [DESAI \(1973\)](#), flexibilizar-se-á este parâmetro utilizando-se da função (1.15), repetida aqui por conveniência:

$$\sigma = \sigma^* v^{-\mu}. \quad (1.15)$$

Para implementar o modelo econômico descrito, utilizou-se o software MATLAB. Portanto, o primeiro passo foi reescrever o código-fonte do modelo de [SILVEIRA \(2012\)](#) em MATLAB, o qual tinha sido implementado originalmente em linguagem C. Após a construção do código-fonte em MATLAB refez-se os experimentos realizados por [SILVEIRA \(2012\)](#), constatando-se que a versão implementada em MATLAB gerava os mesmos resultados da versão em C. Em seguida, inseriu-se a equação (1.15) no modelo computacional baseado em agentes implementado em MATLAB, obtendo-se assim a versão computacional estendida.

Nas simulações que seguem foram fixadas um número de sindicatos igual a 500, também igual ao número de firmas. A produtividade média do trabalho no primeiro período foi normalizada em a (1) =1 e estabeleceu-se o número de propostas salariais possíveis $M=100$. Com relação a taxa de crescimento da população (β) e a produtividade média do trabalho (α), ambas foram extraídas do estudo de [HARVIE \(2000\)](#), cujos valores são $\beta = 0.0206$ e $\alpha = 0.011$.

Além dos parâmetros especificados no parágrafo anterior, as condições iniciais dos parâmetros a serem calibrados e das variáveis de estado do modelo tiveram que ser estabelecidas. A razão capital-produto σ e a taxa de emprego foram inicializadas em 1,775 e 0,96, respectivamente. O valor inicial da razão capital-produto foi obtida do estudo de [HARVIE](#) e corresponde ao valor médio para a economia dos EUA no período 1959-1994. Por sua vez, a taxa de emprego inicial utilizada corresponde ao valor inicial da economia norte-americana da base de dados utilizada no presente estudo (vide próxima seção). Porém, cabe ressaltar, uma vez definido a condição inicial da razão capital-produto e da taxa de emprego, os

seus valores médios resultarão das simulações do modelo computacional. Por fim, foram fixadas 6.000 rodadas para cada simulação computacional.

3.2 Calibração do modelo computacional

Visando aprimorar a simulação computacional, deixando-a mais realista possível, realizou-se a calibragem do modelo. A finalidade da calibração é encontrar o conjunto de parâmetros que oferecesse o melhor grau de ajuste para as variáveis macroeconômicas centrais do modelo original de Goodwin, a saber, a taxa de emprego e a participação dos salários na renda, quando comparadas com as respectivas séries históricas. As séries tomadas como referencial na calibração do modelo computacional foram os dados empíricos das variáveis taxa de emprego e participação do salário na renda da economia dos Estados Unidos e foram obtidos do *Federal Reserve Economic Bank of St. Louis*, dados trimestrais para o período entre 01/01/1968 e 01/10/2011.

O critério de calibração utilizado foi a distância euclidiana entre o par das médias aritméticas da participação dos salários na renda e da taxa de emprego observado no intervalo de tempo acima especificado e o respectivo par de médias geradas por simulação. Mais precisamente, a combinação de parâmetros tomados como referência foi escolhido como aquele que minimiza a seguinte norma:

$$\sqrt{(\overline{U}_s - \overline{U}_e)^2 + (\overline{V}_s - \overline{V}_e)}, \quad (3.1)$$

sendo $\overline{U}_t \equiv \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n U_{x,t}$ e $\overline{V}_t \equiv \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n V_{x,t}$, nas quais n é o número total de observações; $x = \textit{observado, simulado}$; e $t = 1, 2, \dots, n$.

Com base no critério acima, utilizou-se da função *fmincon* do MATLAB 7.9 para selecionar a melhor configuração de parâmetros que minimiza (3.1), ou seja, que melhor se ajusta aos dados empíricos. A síntese deste teste é comparar a distância euclidiana entre

as séries geradas pelo modelo computacional e os dados observados empiricamente. Assim, dadas as condições iniciais das variáveis e os valores dos limites inferiores e superiores dos parâmetros a serem calibrado, esta função utiliza-se da seguinte regra: seleciona aleatoriamente um conjunto de parâmetros, gera computacionalmente os valores simulados e os compara com os dados gerados pelas séries empíricas. Caso esta combinação de parâmetros gere uma menor distância que os parâmetros até então selecionados, a função armazena estes novos parâmetros e descarta o anterior. Este processo se repete até encontrar a configuração de parâmetros que minimiza com certa tolerância a função-objetivo (3.1).

Com o procedimento de calibração acima descrito, a combinação de parâmetros selecionada pela função *fmincon* foi:

$\mu=0.10$ (módulo da elasticidade da razão capital-produto com relação à taxa de emprego);

$\epsilon= 0.0425$ (experimentação);

$\phi=0.1050$ (recentidade);

$\vartheta= 0.450$ (taxa de inflexão);

$\lambda=8.727977779203384$ (lambda).

As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam as séries históricas da participação dos salários na renda e da taxa de emprego dos EUA, bem como as respectivas séries geradas por simulação a partir do modelo computacional estendido e calibrado.

3.3 Propriedades e Resultados do Modelo Goodwiniano Computacional Baseado em Agentes com Razão Capital-Produto Endógena

O primeiro teste realizado consiste na análise da tendência da taxa de emprego e da participação dos salários na renda, obtidos por simulação. Tal análise foi feita realizando-se um teste de raiz unitária destas séries. As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam os

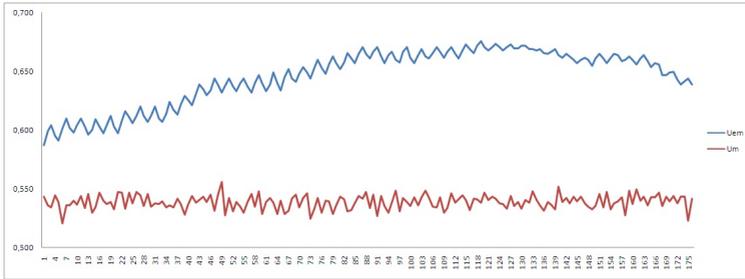


Figura 3.1: Série histórica trimestral - período 1968:1-2011:4 (Uem) e série gerada por simulação(Um) da participação dos salários na renda

Fonte: Elaboração própria

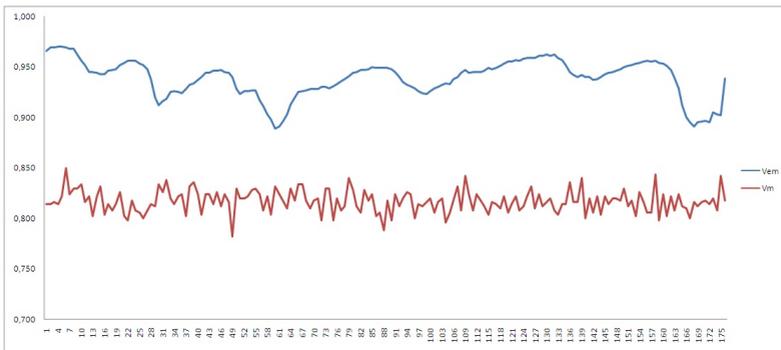


Figura 3.2: Série histórica trimestral - período 1968:1-2011:4 (Vem) e série gerada por simulação(Vm) da taxa de emprego da economia

Fonte: Elaboração própria

resultados dos testes.

Ao analisar as Figuras 3.3 e 3.4, pode-se observar que não existe raiz unitária para os dados gerados no modelo das variáveis taxa de emprego e participação do salário. Assim, como no mo-

Hipótese Nula: PARTICIPAC AOSALARIO tem raiz unitária

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-65.31869	0.0001
Valores Críticos		
1% level	-3.431261	
5% level	-2.861827	
10% level	-2.566965	

Figura 3.3: Teste de raiz unitária para a participação do salário na renda

Fonte: Elaboração própria

Hipótese Nula: TAXADEEMPREGO tem raiz unitária

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-65.31869	0.0001
Valores Críticos:		
1% level	-3.431261	
5% level	-2.861827	
10% level	-2.566965	

Figura 3.4: Teste de raiz unitária para a taxa de emprego

Fonte: Elaboração própria

delo de [GOODWIN \(1967\)](#), as séries geradas flutuam em torno de médias constantes e, portanto, os dados não apresentam tendência.

Como destacado na seção 1.1, um problema presente no modelo original de [GOODWIN \(1967\)](#) é que dependendo dos valores dos parâmetros e/ou das condições iniciais as variáveis taxa de emprego e participação do salário na renda podem assumir valores maior que um durante certas fases dos ciclos. Diante disso, buscou-se verificar esta propriedade no modelo computacional elaborado.

No modelo computacional proposto, dentre as propostas

salariais possíveis a serem escolhidas pelos agentes, existia a possibilidade dos agentes escolherem uma remuneração nula (toda a produção para a firma) ou igual à produtividade do trabalho (toda a produção para o sindicato), porém, em nenhum momento das simulações tal fato veio a ocorrer. Em suma, no modelo computacional aqui proposto, gerou apenas participações dos salários na renda estritamente positivas e menores que um. O mesmo padrão foi observado com relação à taxa de emprego.

Segundo GOODWIN (1967), os valores de equilíbrio das variáveis taxa de emprego e participação dos salários na renda não dependem das condições iniciais do sistema econômico. Para se verificar se esta propriedade é atendida pelo modelo computacional estendido, realizou-se o seguinte procedimento. Adotou-se 0,01 como o menor valor que a taxa de emprego poderia assumir e 1 como o maior valor possível. Dividindo-se este intervalo em 100 partes, a taxa de emprego inicial assumiu os seguintes cem valores: $\frac{1}{100}, \frac{2}{100}, \dots, \frac{99}{100}, 1$. Feito isto, para cada uma destas 100 condições iniciais, foram geradas 1.100 observações, das quais se descartaram as 100 primeiras observações, pelo motivo de aprendizagem do modelo, e extraíu-se as média das 1000 observações restantes.

Considerando o procedimento acima descrito, ter-se-á 100 médias da participação dos salários na renda e da taxa de emprego da economia para suas respectivas condições iniciais. Posteriormente, com a finalidade de testar se as variáveis macroeconômicas analisadas dependem da condição inicial da taxa de emprego, realizou-se um teste de regressão linear entre as médias da participação dos salários na renda e da taxa de emprego da economia com relação a condição inicial desta última ¹. As Figuras 3.5 e 3.6 encontram-se os resultados das regressões, nas quais *CI* denota a taxa de emprego inicial da economia.

Como se observa nas referidas figuras, mudanças nas condições iniciais da taxa de emprego inicial afetam a taxa de emprego

¹Cabe salientar que dada a condição inicial de emprego pelo modelo, fica determinado a taxa de participação dos salários na renda.

Variável Dependente: TAXADEEMPREGO
 Metodo: Mínimo dos Quadrados Ordinários
 Date: 29/02/12
 Variáveis: 100

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Teste T	Prob.
C	0.746193	0.003253	229.3672	0.0000
CI	0.079914	0.005593	14.28843	0.0000

Figura 3.5: Teste da condição inicial para a taxa de emprego
 Fonte: Elaboração própria

Variável Dependente: PARTICIPACAO SALARIO
 Metodo: Mínimo Quadrado Ordinário
 Data: 29/02/2012
 Variáveis: 100

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.557185	0.002417	230.4944	0.0000
CI	-0.011130	0.004156	-2.678117	0.0087

Figura 3.6: Teste da condição inicial para a participação dos salários na renda

Fonte: Elaboração própria

e participação dos salários na renda. Entretanto, como se pode verificar a sensibilidade da média destas variáveis são levemente afetadas pelas condições iniciais.

Nos testes que seguem, analisar-se-á se os resultados emergentes do modelo computacional relativos às médias das participações dos salários na renda e da taxa de emprego geram propriedades

emergente com os padrões macroeconômicos previstos pelo modelo de Goodwin, expostos na seção 1.1. Com a finalidade de realizar tais averiguações, será tomado como ponto médio de cada parâmetro selecionado o seu valor calibrado. Em seguida, análogo do que foi feito anteriormente com a condição inicial da taxa de emprego, para cada parâmetro selecionado estabelecer-se-á 100 valores equidistantes em torno do valor selecionado para este parâmetro no processo de calibração do modelo.

Como exposto na seção 1.1, o modelo de **GOODWIN (1967)** apresenta a propriedade de que a média da taxa de emprego é negativamente relacionada à sensibilidade do salário real na vizinhança do pleno emprego. Por sua vez, a média da participação dos salários na renda não deveria ser impactada por variações dos parâmetros da função barganha (curva de Phillips real). Uma forma de avaliar estas propriedades no modelo computacional proposto é verificar a sensibilidade das variáveis econômicas analisadas quando se altera os parâmetros da função sigmóide. As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam a média das variáveis taxa de emprego e participação dos salários na renda quando o parâmetro ϑ varia. Um maior ϑ implica um menor intervalo dos valores da taxa de emprego próximos ao pleno emprego, assim, a probabilidade de aceitar propostas salariais favoráveis às firmas é menor que a respectiva probabilidade de aceitar propostas salariais favoráveis aos trabalhadores. Portanto, como era de se esperar, a média da participação dos salários na renda tende a diminuir com o aumento de ϑ . Por outro lado, a taxa de emprego não apresenta sensibilidade ao parâmetro ϑ .

As Figuras 3.9 e 3.10 apresentam as médias da participação dos salários na renda e da taxa de emprego em função do parâmetro λ . Aumentos desse parâmetro implicam numa maior curvatura da função sigmóide (2.8). Economicamente, quanto maior o λ , maior será a probabilidade de resultados de barganhas favoráveis aos sindicatos, para cada taxa de emprego maior que $\frac{1}{2}$, que é o ponto de inflexão da função sigmóide. Logo, como esperado, a média da taxa de emprego tende a reduzir quando o λ aumenta. Com

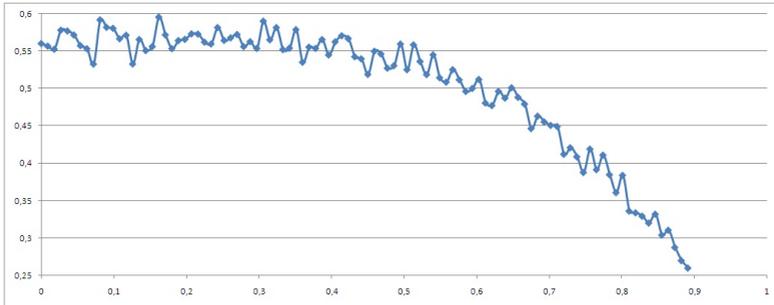


Figura 3.7: Média da participação dos salários em função do parâmetro taxa de inflexão (ψ)

Fonte: Elaboração própria

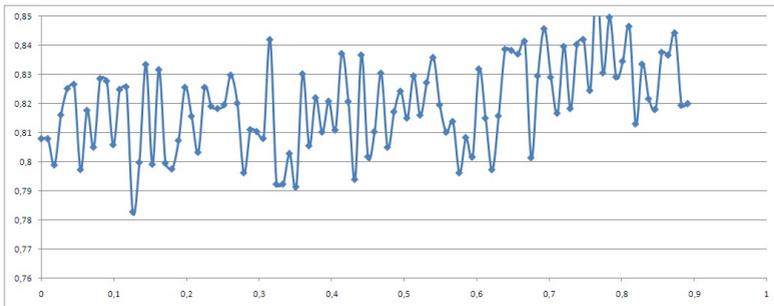


Figura 3.8: Média da taxa de emprego em função do parâmetro taxa de inflexão (ψ)

Fonte: Elaboração própria

respeito, à participação dos salários na renda, somente para valores de λ em torno e acima de nove (9) é que não se observa, como prediz o modelo de Goodwin, impactos do λ sobre a tendência da média da participação dos salários na renda.

As Figuras 3.11 e 3.12 apresentam as médias da taxa de

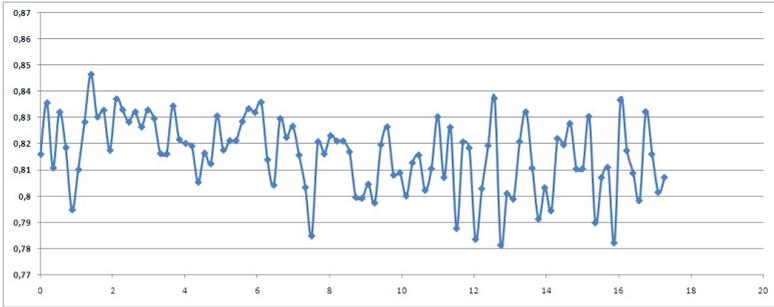


Figura 3.9: Média da taxa de emprego em função do parâmetro lambda (λ)

Fonte: Elaboração própria

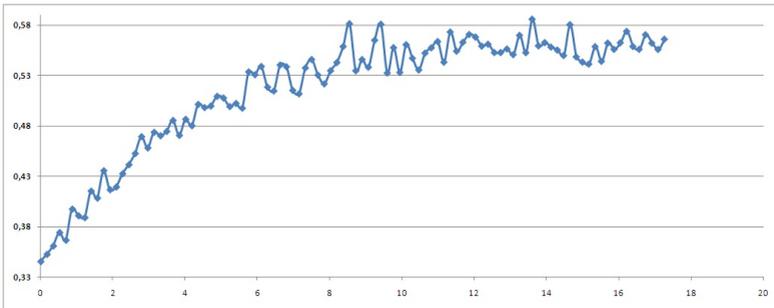


Figura 3.10: Média da participação dos salários em função do parâmetro lambda (λ)

Fonte: Elaboração própria

emprego da economia e da participação dos salários na renda em função do parâmetro de experimentação ϵ do algoritmo de aprendizagem por reforço. A partir de tais figuras, observa-se que a média das variáveis analisadas não apresentam uma tendência ascendente ou descendente quando o citado parâmetro aumenta.

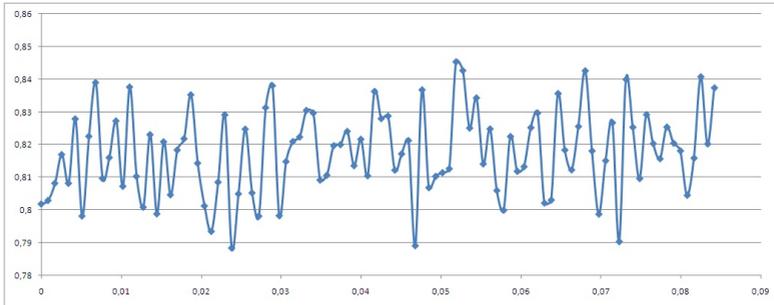


Figura 3.11: Média da taxa de emprego em função do parâmetro experimentação (ϵ)

Fonte: Elaboração própria

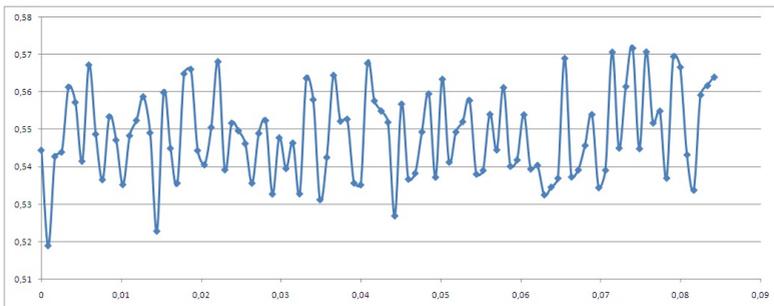


Figura 3.12: Média da participação dos salários em função do parâmetro experimentação (ϵ)

Fonte: Elaboração própria

Com relação ao parâmetro de recentidade ϕ , observa-se que as médias da taxa de emprego da economia e da participação dos salários na renda apresentam tendência quando o referido parâmetro aumenta. Como demonstrado nas Figuras 3.13 e 3.14, há uma queda da taxa de emprego e uma ampliação da participação

dos salários na renda quando o parâmetro em análise aumenta. Uma possível explicação para estes efeitos é que quando firmas e sindicatos revisam suas propostas salariais levando em consideração o desempenho das suas propostas mais recentes, tais agentes acabam dando um peso maior aos estados macroeconômicos mais recentes, de maneira que suas reações acabam sendo mais rápidas e intensas. Isto pode tornar, por exemplo, uma fase de acumulação de capital mais curta.

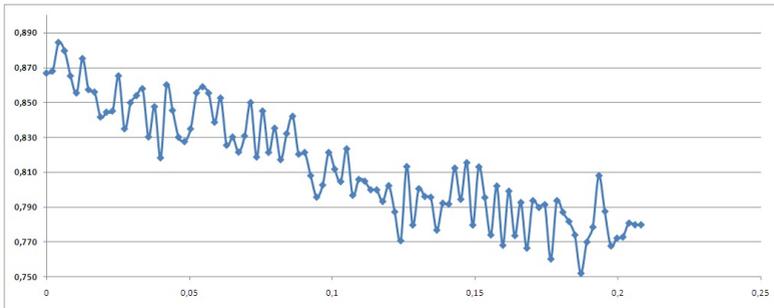


Figura 3.13: Média da taxa de emprego em função do parâmetro recentidade (ϕ)

Fonte: Elaboração própria

As Figuras 3.15 e 3.16 apresentam as médias da participação dos salários na renda e da taxa de emprego da economia em função da taxa de crescimento populacional. De acordo com o modelo de [GOODWIN \(1967\)](#), o valor da média da participação dos salários na renda deve reduzir quando β se eleva, tendência esta que não aparece claramente nas simulações computacionais. Com respeito à taxa de emprego, nota-se que o parâmetro β não afeta a sua média. Isso está de acordo com o modelo de Goodwin, pois a média da taxa de emprego independe da taxa de crescimento populacional.

Como prediz o modelo de [GOODWIN \(1967\)](#), existe uma

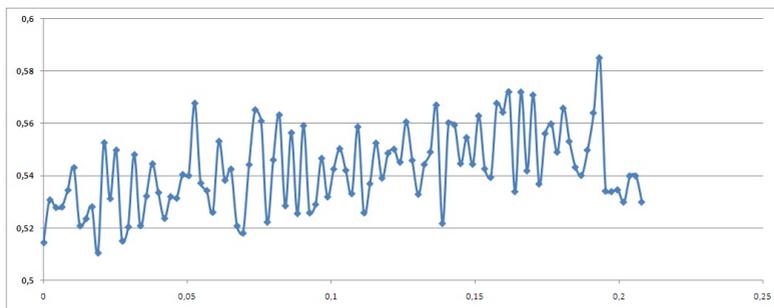


Figura 3.14: Média da participação dos salários em função do parâmetro recentidade (ϕ)

Fonte: Elaboração própria

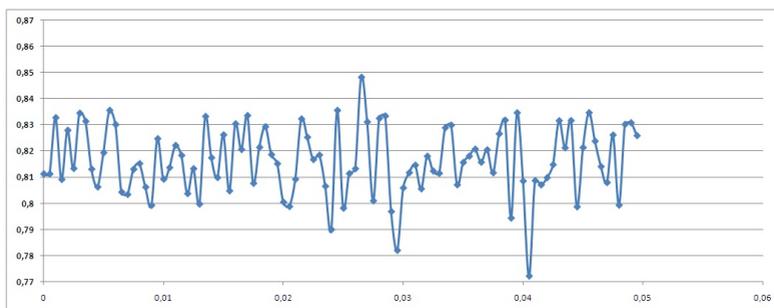


Figura 3.15: Média da taxa de emprego em função do crescimento da população

Fonte: Elaboração própria

relação negativa entre a taxa de progresso técnico e a participação dos salários na renda e uma relação positiva entre a primeira e a taxa de emprego da economia. Todavia, ao analisar as Figuras 3.17 e 3.18, observa-se que as variáveis macroeconômicas analisadas não

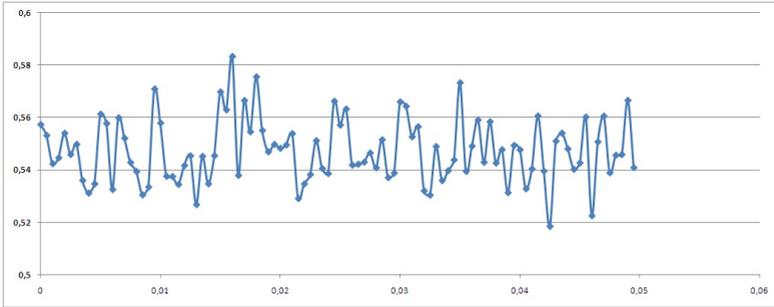


Figura 3.16: Média da participação dos salários em função do crescimento da população

Fonte: Elaboração própria

apresentam sensibilidade em relação à taxa de progresso técnico. Portanto, variações da taxa de progresso técnico não impactam na tendência das médias da participação dos salários na renda e da taxa de emprego da economia geradas pelo modelo computacional.

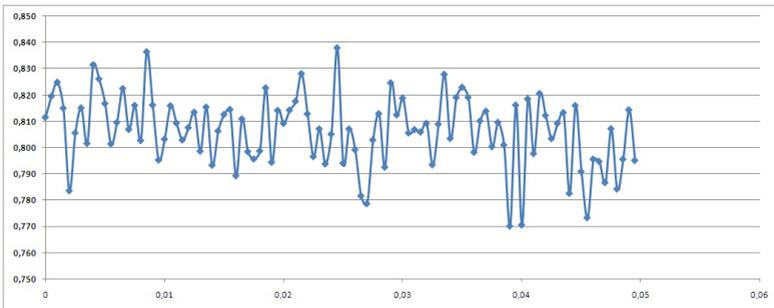


Figura 3.17: Média da taxa de emprego em função da taxa de progresso técnico

Fonte: Elaboração própria

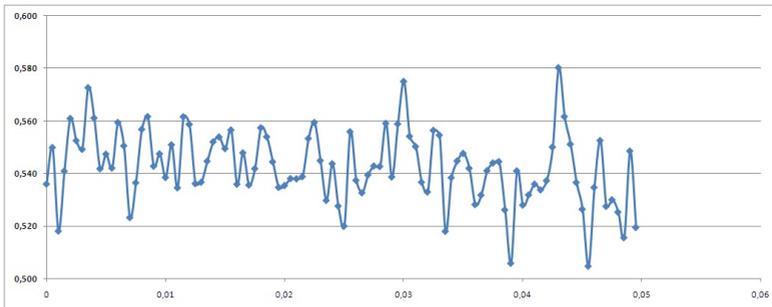


Figura 3.18: Média da participação dos salários em função da taxa de progresso técnico

Fonte: Elaboração própria

Finalizando-se a presente subseção, analisar-se-á se as médias da participação dos salários na renda e da taxa de emprego da economia apresentam tendência quando se altera o parâmetro μ . Ao contrário dos testes anteriores, nos quais foram tomados como ponto médio de cada parâmetro o seu valor calibrado, o presente teste irá adotar um maior intervalo entre os limites inferior e superior de μ . Isto será feito por conta do baixo valor do parâmetro μ obtido na calibração do modelo ($\mu = 0,1$), o que geraria um limite superior igual a 0,2. Com este valor para o limite superior não seria possível testar a propriedade de que para valores de $\mu > 1$ a dinâmica macroeconômica seria instável e, portanto, não haveria ciclos recorrentes com amplitudes limitadas, conforme argumentado por [DESAI \(1973, p. 539\)](#). Assim, determinou-se que o menor valor que o parâmetro poderia assumir é zero e o maior valor seria 5. Posteriormente, adotou-se 101 pontos equidistantes, incluindo os citados valores externos.

A partir das Figuras 3.19 e 3.20, pode-se observar que as médias da participação dos salários na renda e da taxa de em-

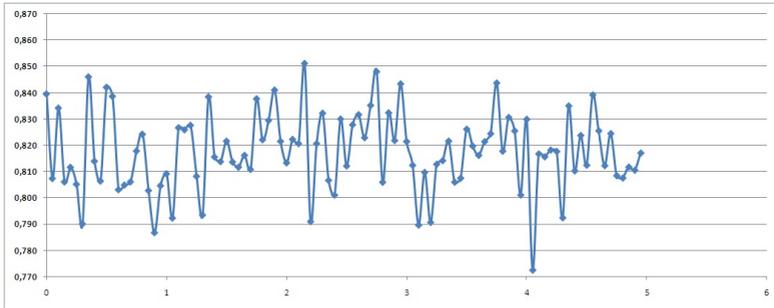


Figura 3.19: Teste de desemprego médio em função da razão capital-produto

Fonte: Elaboração própria

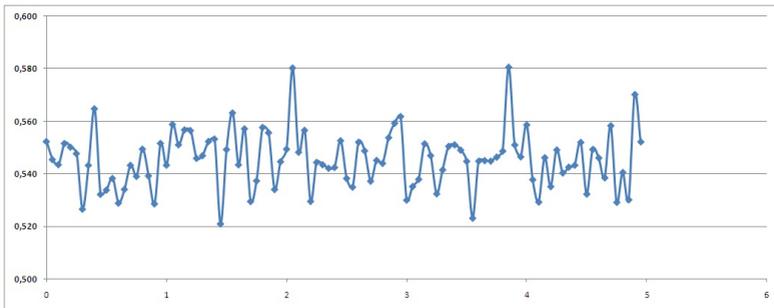


Figura 3.20: Teste da participação dos salários médio em função da razão capital-produto

Fonte: Elaboração própria

prego da economia não apresentam tendência quando se altera a condição inicial de μ . Portanto, verifica-se que a flexibilização da razão capital-produto proposta neste estudo não é capaz de gerar tendência nas médias das variáveis macroeconômicas analisadas.

Considerações Finais

Ao longo do século XX, diversos países desenvolvidos apresentaram flutuações da atividade agregada em suas respectivas economias, mais precisamente no produto e emprego agregados. Diante disso, distintas teorias têm buscado esclarecer as causas geradoras destas flutuações persistentes.

Richard M. Goodwin, autor de grande destaque da teoria dos ciclos econômicos endógenos, busca em seu seminal estudo, “A Growth Cycle”, analisar as causas geradoras dos ciclos econômicos. Assim, o autor apresenta um modelo de ciclos de crescimento, no qual o cerne do processo gerador de ciclos está na interação entre trabalhadores e capitalistas em busca, por meio da barganha salarial, por uma maior parcela do produto total.

Tendo como ponto de partida o modelo original de [GOODWIN \(1967\)](#), o presente estudo elaborou um modelo estendido de uma versão computacional baseada em agentes de "A Growth Cycle", proposto recentemente por [SILVEIRA \(2012\)](#). Nesta versão estendida, diferentemente dos modelos supracitados, a razão capital-produto é endogeneizada na linha sugerida por [DESAI \(1973\)](#), ou seja, supondo que esta última é negativamente relacionada com a taxa de emprego.

No primeiro capítulo apresentou-se o modelo goodwiniano original “A Growth Cycle”, bem como os principais padrões macrodinâmicos resultantes deste modelo de ciclos de crescimento econômico. Em seguida, esboçou-se um resumo das principais linhas de pesquisa desencadeadas pelo modelo goodwiniano.

Com o arcabouço teórico definido, no segundo capítulo buscou-se mostrar a estrutura microeconômica e o ambiente computacional to-

mados como referência na construção do modelo proposto. Primeiramente, apresentou-se as características típicas de um sistema complexo e os principais traços da metodologia computacional baseada em agentes. Posteriormente, apresentou-se o modelo computacional baseado em agentes usado como ponto de partida do presente estudo.

No capítulo 3, substituiu-se no modelo computacional de referência a premissa goodwiniana de constância da razão capital-produto pela suposição de uma relação negativa entre a razão capital-produto de cada firma e a taxa de emprego da economia. Além disso, as regras e parametrizações que balizaram as simulações computacionais foram estabelecidas. Em seguida, visando aproximar o modelo teórico da realidade, realizou-se a calibragem dos parâmetros do modelo cujas estimativas não foram encontradas na literatura econométrica associada. Na calibração, utilizou-se como séries históricas de referência os valores trimestrais da participação dos salários na renda e da taxa de emprego dos EUA, de 1968 à 2011.

Em relação aos resultados, pode-se afirmar que das simulações computacionais feitas com o modelo computacional estendido emergiram regularidades macroeconômicas compatíveis com os padrões encontrados no modelo original de [GOODWIN \(1967\)](#). O primeiro teste consistiu em verificar se as variáveis-chaves geradas no modelo computacional, a saber, a taxa de emprego e a participação dos salários na renda, apresentavam alguma tendência. Com base no teste de raiz unitária, pode-se inferir que as séries geradas por simulação computacional oscilam em torno de médias constantes, isto é, não apresentam tendência.

Outra propriedade apresentada pelos resultados emergentes foi a limitação da amplitude das flutuações da participação dos salários na renda e da taxa de emprego em intervalos economicamente significativos.

O próximo passo foi testar se as médias da taxa de emprego e da participação dos salários na renda eram afetadas pelas condições iniciais do sistema econômico. O resultado emergente foi diferente do respectivo comportamento deduzido no modelo original de [GOODWIN \(1967\)](#), pois foi detectada uma influência, ainda que relativamente pequena, das condições iniciais sobre os valores médios de longo prazo das citadas variáveis macroeconômicas.

Por fim, o último teste realizado consistiu em verificar o efeito sobre as médias da taxa de emprego e da participação dos salários na renda

de variações do módulo da elasticidade da razão capital-produto com relação à taxa de emprego, parâmetro μ . O resultado do teste indicou que variações em μ não impactam de maneira monotônica as referidas médias. Em outros termos, a hipótese de um efeito desestabilizador da endogeneização da razão capital-produto, levantada por [DESAI \(1973\)](#), não foi corroborada pelas simulações computacionais realizadas.

Obviamente que o trabalho aqui realizado não esgota o tema abordado. Portanto, extensões futuras do modelo computacional baseado em agentes aqui desenvolvido são possíveis. Sugere-se incorporar a possibilidade dos trabalhadores migrarem de sindicatos visando obter melhores salários e a realocação de capital entre setores em busca de melhores lucratividades. Outra sugestão seria a aplicação de metodologias econômicas mais apuradas, que possibilitem aferir de maneira mais robusta a presença de ciclos nas variáveis macroeconômicas geradas por simulações computacionais de repetidas interações descentralizadas e não centralmente coordenadas de inúmeros sindicatos e firmas.

Referências Bibliográficas

- ARROW, K. J. (1987), 'Rationality of self and others in an economic system. in: Hogarth, r. m. and reder, m. w. rational chice – the contrast between economics and psychology. chicago e londres:', *The University of Chicago Press* .
- ARTHUR, W. B., DURLAUF, S. N. & LANE, D. A. (1997), 'The economy as an evolving complex system ii. santa fe institute studies in the sciencies of complexity', *Medwood City: Addison-Wesley* .
- ASADA, T., CHIARELLA, C., FLASCHEL, P. & FRANKE, R. (2003), 'Open economy macrodynamics: An integrated disequilibrium approach', *Springer Verlag, Berlin* .
- BLUME, L. (1993), 'The statistical mechanics of strategic interaction.', *In: Games and Economic Behavior* **5**, 387–426.
- CHIAPPIN, J. N. (1997), Racionalidade, jogos dinâmicos, métodos estocásticos markovianos e comportamento coletivo, Doutorado, IPEFEA, USP.
- CHOI, H. (1995), 'Goodwin's growth cycle and the efficiency wage hypothesis', *University Columbia* .
- DESAI, M. (1973), 'Growth cycles and inflation in a model of the class struggle', *Journal of Economic Theory* **6**, 535–546.

- DORE, M. H. I. (1993), 'The macrodynamics of business cycles: A comparative evaluation.', *Cambridge: Blackwell* .
- EREV, I. & ROTH, A. E. (1998), 'Predicting how people play games: Reinforcement learning in experimental games with unique, mixed strategy equilibria.', *The American Economic Review* **88**, 848–881.
- FLASCHEL, P. (1984), 'Some stability properties of goodwin's growth cycle: A critical elaboration', **44**, 63–69.
- FLASCHEL, P. & KRUGER, M. (1984), 'Fiscal policy in an accelerator-augmented classical growth cycles', *Recent Approaches to Economic Dynamics* .
- FOLEY, D. K. (1994), 'A statistical equilibrium theory of markets.', *In: Journal of Economic Theory* **62**, 321–345.
- FRANKLIN, S. (1997), 'Autonomous agents as embodied ai', *Cybernetics and Systems* **28**, 499–520.
- FREITAS, G. G. (2003), *Economia e sistemas complexos: interações sociais, dinâmicas emergentes e uma análise da difusão da internet na cidade de São Paulo*, Doutorado, IPE-FEA, USP.
- GABISCH, G. & LORENZ, H. W. (1989), 'Business cycles theory: A survey of methods and concepts. 2 ed.', *New York: Springer-Verlag* .
- GOLDSTEIN, J. P. (1999), 'Predator- prey model estimates of the cyclical profit squeeze', *Metroeconomica* **50**, 139–173.
- GOODWIN, R. M. (1967), 'A growth cycle, in: C. h. feinstein, eds. , socialism, capitalism and economic growth, essays presented to maurice dobb', *Cambridge University Press* pp. 54–58.
- GOODWIN, R. M. (1990), 'Economic evolution, chaotic dynamics and the marx-keynes-schumpeter system "in rethinking economics" markets, technology and economic evolution'.
- GOODWIN, R. M., KRÜGER, M. & VERCELLI, A. (1984), 'Nonlinear models of fluctuating growth', *Berlin: Springer-Verlag* .

- GOODWIN, R. M. & PUNZO, L. F. (1987), 'The dynamics of a capitalism economy: A multi-sectoral approach', *Cambridge: Polity Press* .
- HARCOURT, G. C. (1985), 'A twentieth-century eclectic: Richard goodwin', *Post keynesian portraits, Cambridge* **3**.
- HARVIE, D. (2000), 'Testing goodwin: Growth cycles in ten oecd countries', *Cambridge Journal of Economics* **24**, 349–376.
- HEGSELMANN, R. & FLACHE, A. (1998), 'Understanding complex social dynamics: A plea for cellular automata based modelling', *In: Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, **1**, **n.3**.
- KIRMAN, A. P. (1997), 'The evolution of economic theory. in: D'Áutune, a. ; cartelier, j. (eds.). is economics becoming a hard science?', *Cheltenham*: pp. 459–502.
- LEBARON, B. (1999), 'Agent-based computational finance: Suggest readings and early research', *Journal of Economic Dinamics and Control* **vol.24**, 679–702.
- MACAL, C. & NORTH, M. (2006), 'Tutorial on agent- based modeling and simulation part 2: How to model with agents.', pp. 73–83.
- OSTROM, T. (1988), 'Computer simulation: The third symbol system', *Journal of Experimental Social Psychology* **24**, 381–392.
- PLOEG, F. (1985), 'Classical growth cycles', *Metroeconomica* **vol.37**, **n.2**, 221–230.
- ROTH, A. E. & EREV, I. (1995), 'Learning in extensive form games: Experimental data and simple dynamic models in the intermediate run.', *Games and Economic Behavior*, .
- SATO, Y. (1985), 'Marx - goodwin growth cycles in a two-sector economy', *Zeitschrift für Nationalökonomie* **45**, 21–39.
- SEMMLER, W. (1986), 'Competition, instability, and nonlinear cycles', *Springer-Verlag Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* .

- SHILLER, R. (2000), 'Irrational exuberance', *Princeton: Princeton University Press* .
- SILVEBERG, G. (1984), 'Embodied technical progress in a dynamical economic model: The self-organization paradigm. in: Goodwin, r. m. , krÜger, m. , vercelli, a. (ed.). nonlinear models of fluctuating growth', *Berlin: Springer-Verlag* pp. 192–208. Lecture notes in economics and mathematical systems, n. 228.
- SILVEIRA, J. J. (2001), Ciclos goodwinianos e o processo de concorrência num ambiente de racionalidade limitada, Doutorado, IPE-FEA, USP.
- SILVEIRA, J. J. (2003), 'Ciclos clássicos num ambiente de racionalidade limitada', *Estudos econômicos, São Paulo* 4, 702–733.
- SILVEIRA, J. J. (2012), 'Ciclos de crescimento goodwinianos: Um estudo sob a perspectiva da complexidade', *Texto para discussão: Florianópolis* .
- SIMON, H. (1976), 'Administrative behavior. a study of decision-making process in administrative organizations', *New York: MacMillan* 3 ed.
- TARASSOW, A. (2010), 'The empirical relevance of goodwin's business cycle model for the us economy', *MPRA* .
- VELUPILLAI, K. (1979), 'Some stability properties of goodwin's growth cycle', *Zeitschrift für Nationalökonomie* 39.