

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Centro Socioeconômico
Programa de Pós-Graduação em Economia

PAULO VICTOR DA FONSECA

Extração de esforço de trabalho e diferenciais de
salários em um ambiente macrodinâmico clássico

Florianópolis, 2015

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Socioeconômico
Programa de Pós-Graduação em Economia

**Extração de esforço de trabalho e
diferenciais de salários em um ambiente
macrodinâmico clássico**

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.

Acadêmico: Paulo Victor da Fonseca

Orientador: Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira

Florianópolis, 2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fonseca, Paulo Victor da
Extração de esforço de trabalho e diferenciais de
salários em um ambiente macrodinâmico clássico / Paulo
Victor da Fonseca ; orientador, Jaylson Jair da Silveira -
Florianópolis, SC, 2015.
86 p.

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

Inclui referências

1. Economia. 2. Extração de esforço de trabalho. 3.
Diferencial de salários. 4. Modelo de Goodwin. 5.
Complexidade. I. Silveira, Jaylson Jair da. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Economia. III. Título.

Paulo Victor da Fonseca

Extração de esforço de trabalho e diferenciais de salários em um ambiente macrodinâmico clássico

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Economia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 30 de março de 2015.

Prof. Dr. Roberto Meurer
Coordenador do Curso

Banca examinadora:

Orientador - Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Gilberto Tadeu Lima
Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Eva Yamila da Silva Catela
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Guilherme Valle Moura
Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo

Flutuações recorrentes dos níveis de atividade econômica, diferenciais de salários inter e intraindústrias e endogeneidade do esforço do trabalho com relação aos salários são fatos bem documentados pela literatura empírica em economia. [Goodwin \(1967\)](#) apresenta um modelo agregado real e não-linear de crescimento econômico que é capaz de gerar flutuações endógenas recorrentes. No entanto, este trabalho pressupõe que o salário real da economia é homogêneo entre os trabalhadores e a produtividade do trabalho cresce a uma taxa constante e exogenamente determinada. A endogeneidade do esforço do trabalho é incorporada ao modelo de Goodwin por [Choi \(1995\)](#), com a adoção da hipótese de salário-eficiência. Entretanto, o modelo de [Choi \(1995\)](#) conclui que a existência de ciclos de crescimento estáveis no modelo de Goodwin com a hipótese de salário-eficiência demanda, necessariamente, que a relação entre esforço do trabalho e salário real seja inversa, relação que contradiz uma parte considerável da literatura experimental e empírica sobre endogeneidade do esforço do trabalho. Ademais, [Choi \(1995\)](#) conclui ainda que para valores economicamente significativos da elasticidade do esforço do trabalho com relação ao salário (entre 0 e 1), ciclos de crescimento são impossíveis. A existência e persistência de heterogeneidade de salários em uma macrodinâmica clássica *à la* Goodwin pode ser verificada no trabalho de [Silveira \(2012\)](#), que propõe um modelo de ciclos de crescimento goodwinianos, sob a perspectiva da complexidade, com desagregação do mercado de trabalho. No entanto, no modelo proposto em [Silveira \(2012\)](#) a produtividade do trabalho é homogênea, ou seja, não depende nem dos salários nem do diferencial de salários. Este trabalho assume o modelo de [Silveira \(2012\)](#) como referência e tem como objetivo propor um modelo econômico computacional baseado em agentes de uma macrodinâmica clássica do tipo Goodwin com endogeneidade do nível de esforço e heterogeneidade de salários. Diferentemente da conclusão de [Choi \(1995\)](#), o modelo com endogeneidade do esforço é capaz de gerar flutuações endógenas recorrentes em torno de médias de longo prazo constantes quando a elasticidade do esforço com relação ao diferencial de salários possui valores economicamente significativos. Além disso, o modelo é capaz de gerar propriedades macroeconômicas emergentes em termos de médias de longo prazo da taxa de emprego e participação do salário na renda em parte compatíveis com o previsto originalmente por [Goodwin \(1967\)](#). Os parâmetros da função esforço inserida na macrodinâmica clássica influenciam as médias de longo prazo das variáveis de estado do modelo, no entanto, parecem ter influências apenas distributivas, deixando a média de longo prazo da taxa de emprego invariante. Ademais, o modelo proposto é utilizado para explicar as variações dos componentes cíclicos das séries temporais empíricas das variáveis taxa de emprego e participação do salário na renda. O modelo é ajustado para dados anuais da economia norte-americana no período 1948-2002. Percebe-se que as características de longo prazo, médias da taxa de emprego e participação do salário na renda, geradas pelo modelo são consistentemente e consideravelmente mais baixas que as empíricas. Além disso, o grau de ajuste do modelo proposto às características cíclicas das séries empíricas é baixo. No entanto, cabe ressaltar a simplicidade do modelo proposto.

Palavras-chave: Extração de esforço de trabalho, diferenciais de salários, modelo de Goodwin, complexidade, modelo baseado em agentes.

Abstract

Recurrent fluctuations of economic activity, inter and intra-industries wage differentials and endogeneity effort of work with respect to wages are well documented facts by the empirical literature in economics. [Goodwin \(1967\)](#) presents a real nonlinear aggregate model of economic growth capable to generate recurrent endogenous fluctuations. However, his model assumes that the real wage is homogeneous among workers and the productivity of work grows at a constant and exogenous rate. The endogeneity of work effort is incorporated into Goodwin's model by [Choi \(1995\)](#), assuming the efficiency-wage hypothesis. However, Choi's concludes that the existence of stable growth cycles in Goodwin's model under efficiency-wage hypothesis demands, necessarily, that the relation between work effort and real wages to be inverse, which contradicts a considerable part of the experimental and empirical literature on the endogeneity of work effort. In addition, [Choi \(1995\)](#) concludes that for economically significant values of effort-wage elasticity (between 0 and 1), growth cycles are impossible. The existence and persistence of wage heterogeneity in a classical macrodynamic Goodwin's like can be observed in the work of [Silveira \(2012\)](#), who proposes a model of goodwinian growth cycles, under the complexity approach, with disaggregated labor market. However, in Silveira's model the productivity of workers is homogeneous, i.e., depends neither on wages nor wage differentials. This work takes the model of [Silveira \(2012\)](#) as benchmark and aims to propose a computational agent-based economic model of a Goodwin-like classical macrodynamic with wage heterogeneity and endogeneity of work effort with respect to the wage differentials. Unlike Choi's conclusion, the model with endogenous effort is capable to generate recurrent endogenous fluctuations around constant long run averages when the effort-wage differentials elasticity has economically significant values. In addition, the model also generates emergent macroeconomic properties in terms of long run averages of employment rate and wage share that are, in part, consistend with the originally predicted by Goodwin's model. The parameters of the effort-function included in the classical macrodynamic influence the long-run averages of the state variables of the model, however, they seem to have only distributive effects, while the long-run average of employment rate remains invariant. Moreover, the proposed model is used to explain the variations of the cyclical components of the annual time series of the employment rate and wage share of the US economy in the period 1948-2002. It is noticed that the long-run characteristics, employment rate and wage share averages, generated by the model are consistently and significantly lower than the empirical. Furthermore, the adjustment of the proposed model to the cyclical characteristics of the empirical series is low. However, it should be noted the starkly simplicity of the proposed model.

Keywords: labor effort elicitation, wage differentials, Goodwin model, complexity, agent-based computational economics.

Lista de Figuras

1.1	Ciclo de crescimento goodwiniano. Fonte: Silveira (2012)	10
3.1	Trajectoria da taxa de emprego em função dos períodos de simulação.	36
3.2	Trajectoria da participação dos salários na renda em função dos períodos de simulação.	37
3.3	Trajectoria do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função dos períodos de simulação.	38
3.4	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função da taxa de emprego inicial.	39
3.5	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função da taxa de emprego inicial.	40
3.6	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de λ	41
3.7	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de λ	41
3.8	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de λ	42
3.9	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de μ	42
3.10	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de μ	43
3.11	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de μ	43
3.12	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de ψ	44
3.13	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de ψ	44

3.14	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de ψ	44
3.15	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de ϕ	45
3.16	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de ϕ	45
3.17	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de ϕ	46
3.18	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de α	46
3.19	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de α	47
3.20	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de α	47
3.21	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de β	48
3.22	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de β	48
3.23	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de β	49
3.24	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de σ	49
3.25	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de σ	49
3.26	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de σ	50
3.27	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de b	51
3.28	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de b	51
3.29	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de b	51
3.30	Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de η	52
3.31	Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de η	52
3.32	Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de η	53
3.33	Trajectoria do componente cíclico da taxa de emprego simulada e empírica.	59

3.34 Trajetória do componente cíclico da participação do salário na renda simulada e empírica.	60
---	----

Lista de Tabelas

3.1	Parametrização do modelo.	36
3.2	Estatísticas descritivas da série participação do salário na renda.	54
3.3	Estatísticas descritivas da série taxa de emprego.	55
3.4	Parâmetros estimados ou baseados na literatura.	55
3.5	Parâmetros calibrados.	57
3.6	Estatísticas das séries empíricas e simuladas.	58
3.7	Correlação cruzada das séries empíricas e simuladas.	59

Sumário

Introdução	1
1 Ciclos de crescimento goodwinianos	5
1.1 Macrodinâmica clássica: modelo de Goodwin (1967)	5
1.2 Ciclos de crescimento goodwinianos com barganhas bilaterais descentralizadas: uma abordagem de sistemas complexos	11
1.2.1 Modelo goodwiniano baseado em agentes: estrutura formal	13
1.2.2 Propriedades macroeconômicas emergentes do modelo de Silveira (2012)	18
2 Persistência de diferenciais de salários, endogeneidade do esforço do trabalho e heterogeneidade da produtividade do trabalho	21
2.1 Diferenciais de salários e esforço do trabalho	21
2.1.1 Persistência de diferenciais de salários	21
2.1.2 Endogeneidade do esforço do trabalho com relação ao salário	26
2.2 Ciclos de crescimento goodwinianos e a hipótese de salário eficiência - Modelo de Choi (1995)	29
2.3 Diferenciais de salários e esforço endógeno em um ambiente macrodinâmico clássico: um estudo sob a perspectiva da complexidade	32
3 Propriedades macroeconômicas emergentes e teste empírico da teoria	35
3.1 Propriedades macroeconômicas emergentes	35

3.1.1	Estática comparativa: sensibilidade das médias de longo prazo das variáveis econômicas relevantes aos parâmetros do modelo	37
3.2	Teste empírico do modelo para a economia norte-americana no período 1948-2002	54
3.2.1	Conjunto de dados utilizados	54
3.2.2	Parametrização do modelo	55
3.2.3	Ajuste do modelo proposto à economia norte-americana no período 1948-2002	57
	Considerações Finais	61
	Referências Bibliográficas	65
	A Resultados das estimativas dos parâmetros	69

Introdução

Ao longo dos últimos séculos as economias de mercado têm apresentado flutuações recorrentes dos níveis de atividade econômica em torno de uma tendência ascendente. Tanto os determinantes da tendência positiva de crescimento quanto as causas das flutuações agregadas e recorrentes em torno desta tendência são questões centrais da teoria macroeconômica. O cerne do mecanismo gerador destas oscilações tem dividido os esforços teóricos sob duas distintas abordagens. Uma das abordagens reconhece que estas oscilações são resultantes de choques exógenos ao sistema econômico, enquanto um outro grupo vê as flutuações recorrentes das economias como intrínsecas ao próprio sistema econômico e, portanto, independentem de choques externos.

Um dos principais trabalhos da área de ciclos de crescimento endógenos é o proposto por [Goodwin \(1967\)](#). Goodwin apresenta um modelo agregado real e não-linear de crescimento econômico capaz de gerar flutuações endógenas, [Choi \(1995, p. 223\)](#). O mecanismo gerador de ciclos deste modelo é dado pela interação, via barganha salarial, entre distribuição de renda e acumulação de capital.

A literatura gerada após a publicação do modelo seminal de [Goodwin \(1967\)](#) é ampla e diversa. Um subconjunto dessa nova área de pesquisa dedicou-se a investigar extensões do citado modelo no que diz respeito à desagregação do sistema econômico por ele descrito. O trabalho de [Silveira \(2012\)](#), tomado como ponto de partida do modelo a ser proposto no presente trabalho, faz parte deste subconjunto de trabalhos que analisam versões desagregadas do modelo original de Goodwin. No trabalho em questão, a desagregação é feita no cerne da dinâmica goodwiniana, a saber, no mercado de trabalho. É suposta a existência de um mercado de trabalho interno associado a cada firma do sistema econômico, onde os gestores das firmas negociam os salários a serem praticados com um colegiado de trabalhadores.

O mercado de trabalho descentralizado sob a forma de leilões duplos entre firmas e sindicatos proposta por [Silveira \(2012\)](#) permite a existência de diferenciais de salários pagos a trabalhadores homogêneos neste sistema econômico. Os resultados obtidos evidenciam que o diferencial de salários

não só existe como é persistente ao longo das simulações. A existência e persistência de diferenciais de salários tanto inter quanto intra-indústrias é um fato estilizado da literatura econômica. Há robustas evidências empíricas de que as diferenças de salários são "*substantial, stable over time, and remain after one controls for a set of observed individual and job characteristics*", Katz (1986, p. 282).

É importante notar, entretanto, que no modelo proposto por Silveira (2012), a heterogeneidade de salários coexiste com homogeneidade da produtividade do trabalho. No entanto, quando há homogeneidade dos trabalhadores quanto ao nível de capital humano, caso verificado no trabalho de Silveira (2012), a existência de firmas que paguem um salário relativamente mais elevado faz com que o emprego seja um bem valioso para o trabalhador associado a esta firma. Portanto, este trabalhador terá um incentivo para exercer um nível maior de esforço no seu trabalho.

Esta relação positiva entre o nível do esforço do trabalho e os salários reais é um fato observado tanto empírica quanto experimentalmente. A teoria de salário-eficiência procura incorporar esta relação ao tornar endógeno o nível de esforço dispendido por um trabalhador com relação aos salários recebidos.

A hipótese de salário-eficiência é adicionada ao modelo de Goodwin por Choi (1995). O objetivo do trabalho de Choi (1995) é verificar a robustez dos ciclos de crescimento goodwinianos à incorporação da hipótese de salário-eficiência à macrodinâmica clássica descrita em Goodwin. No entanto, Choi conclui que para ser garantida a existência de um ciclo de crescimento goodwiniano de oscilações periódicas neutramente estáveis é necessária que a relação entre salário real e nível de esforço do trabalho seja inversa, esta relação inversa contradiz grande parte da literatura empírica e experimental. Além disso, para valores economicamente significativos da elasticidade do esforço com relação ao salário real, ou seja, valores entre 0 e 1, Choi (1995) demonstra que os ciclos de crescimento são impossíveis.

Motivado pelos trabalhos anteriormente citados, o objetivo deste trabalho é: (i) propor um modelo econômico computacional baseado em agentes, sob o ponto de vista da complexidade, de um sistema econômico descrito por uma macrodinâmica clássica goodwiniana com desagregação do mercado de trabalho, heterogeneidade de salários e endogeneidade do nível de esforço do trabalho; (ii) verificar se as propriedades macroeconômicas emergentes para as médias de longo prazo das duas variáveis relevantes deste modelo (participação do salário na renda e taxa de emprego) são compatíveis com as previstas originalmente por Goodwin (1967) e Choi (1995); (iii) verificar a qualidade do ajuste das propriedades das séries simuladas pelo modelo às propriedades das séries empíricas da economia norte-americana no período 1948-2002.

O presente trabalho é dividido, então, da seguinte maneira: o capítulo primeiro expõe de maneira detalhada os modelos de ciclos de crescimento de Goodwin (1967) e Silveira (2012). No segundo capítulo, as literaturas

de diferenciais de salários inter e intraindústrias e endogeneidade do esforço do trabalho são expostas. Além disso, o modelo de [Choi \(1995\)](#) que incorpora a hipótese de salário-eficiência à macrodinâmica clássica goodwiniana é discutida e, por fim, o capítulo é encerrado com a exposição da estrutura formal do modelo proposto e utilizado neste trabalho. O terceiro e último capítulo discute os detalhes da implementação computacional e seleção dos valores numéricos dos parâmetros do modelo, além de discutir as propriedades macroeconômicas emergentes do modelo proposto e o teste da teoria ao comparar o ajuste dos dados simulados aos dados observados da economia norte-americana no período 1948-2002.

Capítulo 1

Ciclos de crescimento goodwinianos

1.1 Macrodinâmica clássica: modelo de **Goodwin** (1967)

Ao longo dos últimos séculos as economias de mercado têm apresentado flutuações recorrentes dos níveis de atividade econômica em torno de uma tendência ascendente. Tanto os determinantes da tendência positiva de crescimento quanto as causas das flutuações agregadas e recorrentes em torno desta tendência são questões centrais da teoria macroeconômica. Sendo a teoria do crescimento responsável pela investigação do primeiro fenômeno e a teoria dos ciclos de negócios a encarregada pela explicação do segundo.

As variações de curto prazo em variáveis como salários, produto e emprego agregados, objetos de estudo das teorias de ciclos de negócios, têm dividido os esforços teóricos em duas áreas distintas na identificação do cerne do mecanismo gerador de ciclos. Como observa [Silveira \(2012\)](#), um grupo reconhece que as oscilações em torno da tendência são resultados de choques exógenos ao sistema econômico (choques tecnológicos ou intervenções governamentais, por exemplo) sendo, portanto, o sistema econômico um mecanismo estável e que qualquer desvio da trajetória de equilíbrio tende a ser corrigido por mecanismos estabilizadores ([Slutzky \(1937\)](#), [Frisch \(1933\)](#), [Kydland & Prescott \(1982\)](#)).

Diferentemente desta visão, a outra abordagem reconhece que as flutuações são intrínsecas ao sistema econômico e, portanto, independem da existência de choques exógenos ([Harrod \(1939\)](#), [Samuelson \(1939\)](#), [Goodwin \(1967\)](#), [Chiarella et al. \(2005\)](#)). "As oscilações são geradas pelo *modus operandi* do sistema econômico ([Silveira 2012](#), p. 674)".

O modelo de [Goodwin \(1967\)](#), que neste trabalho descreverá a macrodinâmica do sistema econômico, pertence à segunda classe de modelos. Goodwin apresenta um modelo agregado real e não-linear de crescimento

econômico capaz de gerar flutuações endógenas, (Choi 1995, p. 223). O mecanismo gerador de ciclos deste modelo é dado pela interação, via barganha salarial, entre distribuição de renda e acumulação de capital. Esta macrodinâmica apresentada por Goodwin apresenta características clássicas já que, como observa Solow (1990):

The model adopts Say's Law. Real consumption is always equal to real earnings and real investment is always equal to real profits. Thus aggregate demand is identical to aggregate output. This is what permits the model to trace out fluctuations in output and employment as dictated primarily by the course of wage costs (Solow 1990, p. 37).

Diferentemente da abordagem de ciclos exógenos, os mecanismos geradores de flutuações em Goodwin (1967) não são choques exógenos aleatórios. Como observado em Choi (1995), os ciclos econômicos são características intrínsecas ao próprio funcionamento do sistema econômico:

He concludes that 'the very structure of capitalism constitutes a homeostatic mechanism which functions by means of variations in distribution shares but does so in such a way as to keep them constant in the long run' (Choi 1995, p. 223-224).

O sistema econômico capitalista descrito por Goodwin (1967) é um sistema fechado e produz uma única mercadoria homogênea que, de maneira usual, pode ser diretamente consumida ou acumulada como capital. Todas as variáveis deste sistema econômico são expressas em termos reais e líquidos (sem depreciação). Os insumos utilizados na produção desta mercadoria são capital e trabalho (homogêneos e não-específicos), e são combinados em proporções fixas.

O progresso técnico é desincorporado e puramente aumentador de trabalho (Harrod-neutro), ou seja, a produtividade média do trabalho, a , cresce a uma taxa constante e exogenamente determinada:¹

$$\frac{\dot{a}}{a} = \alpha, \quad (1.1)$$

sendo $a = \frac{Y}{L}$, Y o produto, L a quantidade empregada de trabalho e α uma constante estritamente positiva exogenamente determinada. Este pressuposto implica em uma razão produto-trabalho com crescimento constante e também exogenamente determinado.

¹Seguindo a notação usual, um ponto sobre uma variável qualquer indica sua taxa instantânea de variação.

A força de trabalho, N , também cresce a uma taxa constante e exogenamente determinada:

$$\frac{\dot{N}}{N} = \beta, \quad (1.2)$$

sendo β uma constante estritamente positiva.

Supõe-se, ainda, a existência de uma razão capital-produto, σ , constante ao longo do tempo:

$$\sigma = \frac{K}{Y}, \quad (1.3)$$

sendo K o estoque de capital.

Todos os salários são consumidos em bens de consumo, todos os lucros são poupados e instantaneamente investidos em bens de capital não-depreciativos. Formalmente, o investimento \dot{K} é, então, dado por:

$$\dot{K} = (1 - u)Y, \quad (1.4)$$

sendo $u = \frac{wL}{Y}$ a participação dos salários na renda e w o salário real.

Por fim, o nível do salário é determinado pelo processo de barganha no mercado de trabalho, sendo função inversa da taxa de emprego. [Goodwin \(1967\)](#) observa, ainda, que o crescimento do salário é mais rápida na vizinhança do pleno emprego. No entanto, o autor adota uma curva de Phillips real linear:

$$\frac{\dot{w}}{w} = -\gamma + \delta v, \quad (1.5)$$

sendo $v = \frac{L}{N}$ a taxa de emprego do sistema econômico, γ e δ constantes paramétricas estritamente positivas e exogenamente determinadas.

As variáveis macroeconômicas de estado centrais deste modelo são a participação dos salários na renda (u) e a taxa de emprego (v). Do conjunto de pressupostos adotados por [Goodwin \(1967\)](#) e descritos anteriormente pelo conjunto de equações (1.1)-(1.5) pode-se obter um sistema bidimensional de equações diferenciais nas variáveis de estado u e v :

$$\dot{u} = [-(\alpha + \gamma) + \delta v]u, \quad (1.6)$$

$$\dot{v} = \left[\frac{1-u}{\sigma} - (\alpha + \beta) \right] v, \quad (1.7)$$

cujo espaço de estados economicamente significativo é dado por $\Theta = \{(u, v) \in \mathbb{R}_+^2 : u \leq 1, v \leq 1\}$.

A primeira equação (1.6) deriva de uma curva de Phillips real e mostra uma relação positiva entre a taxa de crescimento da participação dos salários na renda e a taxa de emprego. Segundo [Goodwin \(1967\)](#) esta relação positiva entre as duas variáveis citadas é justificada da seguinte maneira: o aumento na taxa de crescimento da participação dos salários na renda ocorre com um aumento do poder de barganha dos trabalhadores

decorrente de aumentos na taxa de emprego.

Os mecanismos econômicos subjacentes à relação inversa entre taxa de crescimento da proporção empregada da força de trabalho (taxa de emprego) e a participação dos salários na renda evidenciada na equação (1.7) são dados pelas seguintes interações. Variações na distribuição de renda favoráveis à classe trabalhadora faz com que a massa de lucro cresça menos que o produto. Esse maior crescimento do produto sobre a massa de lucro gera contrações da rentabilidade do capital e, logo, contrações também no investimento e na taxa de crescimento do produto. Este desaquecimento no nível de atividade econômica, por sua vez, terá efeito sobre o ritmo de crescimento do emprego, isso posto, dado o crescimento exponencial da produtividade do trabalho e da população, o resultado será de redução na taxa de crescimento da taxa de emprego, como observa [Silveira \(2012\)](#).

O sistema dinâmico bidimensional descrito por (1.6)-(1.7) é formalmente idêntico às equações de [Lotka \(1925\)](#) e [Volterra \(1926\)](#) que descrevem a densidade populacional de predadores e presas. O próprio [Goodwin \(1967\)](#) destaca a similaridade formal dos dois problemas, mas não exclusivamente formal:

It has long seemed to me that Volterra's problem of the symbiosis of two populations - partly complementary, partly hostile - is helpful in the understanding of the dynamical contradictions of capitalism, especially when stated in a more or less Marxian form ([Goodwin 1967](#), p. 55).

Continuando a analogia com o modelo Lotka-Volterra da biologia, neste modelo a população de predadores cresce mais rápido quando a população de presas é maior, já que a disponibilidade de presas para os predadores é maior. Por sua vez, a população de presas cresce mais rapidamente quando a população de predadores é menor, dado que serão alvos de um número menor de predadores. Dadas as variáveis do modelo de [Goodwin \(1967\)](#), é razoável associar a taxa de emprego do modelo com a classe trabalhadora e a taxa de lucro com a classe capitalista, [Solow \(1990, p. 35-36\)](#). Fica evidente, então, que a taxa de emprego cresce mais rápido quanto maior a taxa de lucro da economia, enquanto a taxa de lucro cresce mais rápido quanto menor a taxa de emprego. Conclui-se, então, que no modelo de Goodwin a classe trabalhadora corresponde aos predadores do modelo Lotka-Volterra. [Solow \(1990\)](#) identifica o mecanismo econômico por trás desta associação da seguinte maneira:

High profits mean high investment and, since all investment is manned, high investment means rapidly growing employment. On the other side,

low employment means falling wages and a rising share of profits (Solow 1990, p. 36).

As equações (1.6)-(1.7) levam a:

$$[-(\alpha + \gamma) + \delta v] \frac{\dot{v}}{v} = [-(\alpha + \beta) + (1 - u)\sigma^{-1}] \frac{\dot{u}}{u}, \quad (1.8)$$

que pode ser integrada para obter:

$$u^{\eta_1} e^{-\theta_1 u} = H v^{-\eta_2} e^{\theta_2 v}, \quad (1.9)$$

sendo $\eta_1 = \sigma^{-1} - (\alpha + \beta)$, $\theta_1 = \sigma^{-1}$, $\eta_2 = \alpha + \beta$, $\theta_2 = \delta$ e H uma constante de integração necessariamente positiva. Como observado por Solow (1990), esta equação descreve as trajetórias no plano (u, v) das soluções do sistema bidimensional. A trajetória é uma órbita fechada com localização determinada pelos parâmetros estruturais do modelo e amplitude dada pela constante de integração H . O sistema possui dois pontos de equilíbrio, um trivial $(u, v) = (0, 0)$ e um economicamente significativo dado pelo ponto $(u, v) = (1 - \sigma(\alpha + \beta), \frac{\alpha + \gamma}{\delta})$. Portanto, dadas as condições iniciais, as variáveis macroeconômicas chaves do modelo de Goodwin u e v apresentam oscilações recorrentes. Dado que a taxa de emprego oscila em torno de uma média de longo prazo constante, o emprego cresce, no longo prazo, à mesma taxa de crescimento da população e, portanto, o produto cresce no longo prazo à sua taxa natural, dada pela soma das taxas de crescimento da população e da produtividade. A falta de tendência da participação dos salários na renda, como observa Solow (1990, p. 34), implica que o salário real oscila em torno de uma tendência que cresce à mesma taxa da produtividade do trabalho.

Na Figura 1.1 encontra-se uma órbita fechada que representa um ciclo de crescimento goodwiniano. Silveira (2012) evidencia o mecanismo econômico subjacente a estes ciclos da seguinte maneira: suponha, sem perda de generalidade, que o sistema tenha início no ponto A, ponto mínimo da participação dos salários na renda e valor de equilíbrio para a taxa de emprego. Neste ponto a taxa de lucro é máxima. Motivado pela taxa de lucro máxima, capitalistas aumentam o nível de investimento do sistema econômico e, portanto, do produto. Esta expansão implicará em um aumento na taxa de emprego. O aumento do emprego, via curva de Phillips real, implicará em aumento do custo real do trabalho. Este aumento dos salários implica em contínua compressão da taxa de lucro. O sistema econômico será direcionado, portanto, para o ponto B, onde atingirá uma situação de equilíbrio da participação dos salários na renda e nível máximo da taxa de emprego.

No ponto B o poder de barganha da classe trabalhadora está no seu ápice causando um aumento contínuo do salário real e queda contínua da taxa de lucro e da taxa de emprego. Processo este que será mantido até que o nível de equilíbrio do emprego seja atingido novamente (ponto C).

Nesta nova situação, a participação dos salários na renda encontra-se em seu nível máximo e a taxa de emprego continua sua trajetória descendente reduzindo cada vez mais o poder de barganha dos trabalhadores. A taxa de crescimento do salário real é superada pela taxa de crescimento da produtividade do trabalho levando a uma recuperação da taxa de lucro. Levando o sistema econômico a uma situação de equilíbrio da participação dos salários na renda e taxa de emprego mínima (ponto D).

O acentuado enfraquecimento do poder de barganha dos trabalhadores convivendo com uma taxa de lucro suficientemente elevada induzirá os capitalistas a retomarem o aquecimento do nível de atividade econômico, provocando uma tendência ascendente da taxa de emprego e um crescimento também da taxa de lucro (já que o crescimento da produtividade ainda supera o crescimento do salário real). Este processo será mantido até que o sistema econômico atinja uma situação de equilíbrio da taxa de emprego e a participação dos salários na renda atinja seu limite inferior (ponto A). Reiniciando-se, assim, o ciclo em sentido horário.

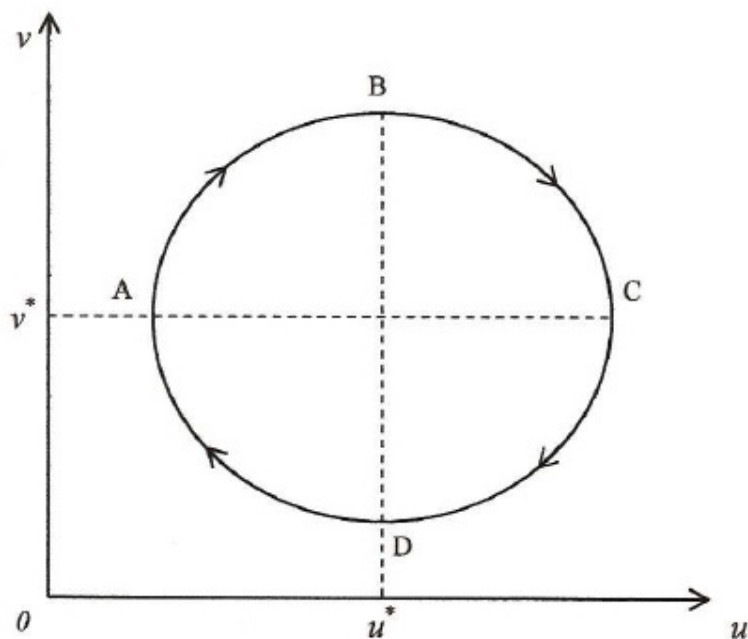


Figura 1.1: Ciclo de crescimento goodwiniano. Fonte: [Silveira \(2012\)](#)

Como descrito anteriormente, então, o modelo de [Goodwin \(1967\)](#) propõe uma explicação para uma trajetória de crescimento com flutuações

onde crescimento e distribuição de renda interagem. [Silveira \(2012\)](#) destaca que o mecanismo gerador de ciclos é, para Goodwin, uma característica importante da macrodinâmica cíclica das economias capitalistas:

The improved profitability carries the seed of its own destruction by engendering a too vigorous expansion of output and employment, thus destroying the reserve army of labour and strengthening labour's bargaining power. This inherent conflict and complementarity of workers and capitalists is typical of symbiosis ([Goodwin 1967](#), p. 58).

É importante, ainda, ressaltar que, independentemente das condições iniciais, as variáveis macroeconômicas chaves do modelo de Goodwin apresentam valores médios constantes dependentes apenas dos parâmetros estruturais do sistema econômico. Estes valores médios são os próprios valores de equilíbrio do modelo, ou seja:

$$\bar{u} \equiv \frac{1}{T} \int_0^T u(s) ds = 1 - \sigma(\alpha + \beta), \quad (1.10)$$

$$\bar{v} \equiv \frac{1}{T} \int_0^T v(s) ds = \frac{\alpha + \gamma}{\delta}. \quad (1.11)$$

Portanto, a média da participação do salário na renda depende negativamente das taxas de progresso técnico e de crescimento populacional e da razão capital-produto. Já a média da taxa de emprego, por sua vez, depende positivamente da taxa de progresso técnico e do intercepto da curva de Phillips real (γ). Além disso, a sensibilidade do salário real na vizinhança do pleno emprego (δ) afeta negativamente a média da taxa de emprego. Tais resultados serão úteis no terceiro capítulo.

1.2 Ciclos de crescimento goodwinianos com barganhas bilaterais descentralizadas: uma abordagem de sistemas complexos

A literatura gerada após a publicação do modelo seminal de [Goodwin \(1967\)](#) é ampla e diversa. Um subconjunto dessa nova área de pesquisa dedicou-se a investigar extensões do citado modelo no que diz respeito à desagregação do sistema econômico por ele descrito. O trabalho de [Silveira \(2012\)](#), tomado como ponto de partida do modelo a ser proposto no

presente trabalho, faz parte deste subconjunto de trabalhos que analisam versões desagregadas do modelo original de Goodwin. No trabalho em questão, a desagregação é feita no cerne da dinâmica goodwiniana, a saber, no mercado de trabalho. É suposta, então, a existência de um mercado de trabalho interno associado a cada firma do sistema econômico, onde os gestores das firmas negociam os salários a serem praticados com um colegiado de trabalhadores. Como o próprio autor observa

Esses mercados de trabalho internos formam uma estrutura de barganha salarial descentralizada, heterogênea e, frise-se, não sujeita a qualquer instância global e externa de controle. Ademais, todas as firmas e sindicatos de trabalhadores são heterogêneos e, a cada período, adaptam suas propostas salariais ao ambiente macroeconômico que resultou de suas interações passadas, gerando com isso, possivelmente, um novo estado macroeconômico (Silveira 2012, p. 675).

As características descritas acima da descentralização do mercado de trabalho, junto com a coevolução das revisões de estratégias dos agentes que compõem esse sistema, são influenciados por e influenciam o estado macroeconômico, fazendo com que a abordagem de sistemas complexos seja apropriada para descrever esta economia.

Por sistema complexo entende-se um sistema dinâmico composto por inúmeros agentes distintos e conectados que interagem entre si. Esta interação entre os agentes e fatores externos acabam por alterar o ambiente de interação, portanto, a característica de adaptabilidade é fundamental para a sobrevivência do sistema, Fonseca (2013, p. 26).

Freitas (2006) sintetiza um sistema complexo da seguinte maneira:

1. os sistemas complexos são compostos por inúmeros agentes heterogêneos capazes de aprender e adaptar-se às mudanças do ambiente em que estão inseridos;
2. os agentes interagem diretamente, por mecanismo de *feedback* que afetam suas escolhas; e
3. apresentam padrões de auto-ordenamento e estruturas emergentes de um para outro nível hierárquico superior.

Tendo isto em consideração, o objetivo do trabalho de Silveira (2012) é propor um modelo computacional baseado em agentes² (ferramenta típica da modelagem de sistemas complexos) de um sistema econômico tal qual

²Para mais detalhes sobre esta metodologia consultar a terceira seção do terceiro capítulo de Fonseca (2013). Sinteticamente, a modelagem computacional baseada em agentes de processos econômicos é:

o descrito em [Goodwin \(1967\)](#) com desagregação do mercado de trabalho e verificar se algumas propriedades macroeconômicas descritas no modelo original baseado em equações de Goodwin podem ser geradas como propriedades emergentes desta economia computacional.

A estrutura formal do trabalho de [Silveira \(2012\)](#) exposta a seguir será tomada como a principal referência na modelagem do sistema econômico utilizado neste trabalho. Posteriormente os resultados obtidos pelo autor são sucintamente expostos.

1.2.1 Modelo goodwiniano baseado em agentes: estrutura formal

O modelo computacional proposto por [Silveira \(2012\)](#) consiste na interação entre firmas e colegiados de sindicatos de trabalhadores sob a forma de leilões duplos recorrentes em cada iteração da simulação computacional.

Supõe-se que o sistema econômico seja composto por F firmas que produzem apenas um tipo de bem homogêneo que poderá ser consumido ou acumulado como capital não-depreciativo. Este bem é produzido, tal qual em [Goodwin \(1967\)](#), pelos insumos capital e trabalho combinados em proporções fixas. De maneira mais formal, a produção é dada pela seguinte tecnologia Leontief:

$$Y_j(t) = \min \left\{ \frac{K_j(t)}{\sigma}, a(t)L_j(t) \right\}, \quad i \in \{1, 2, \dots, F\}, \quad (1.12)$$

sendo $Y_j(t)$ a produção, $K_j(t)$ o estoque de capital e $L_j(t)$ a quantidade de trabalho, $a(t)$ a produtividade média do trabalho (razão produto-trabalho) relativos à firma j em um dado período de tempo t . A razão capital-produto é dada pela variável σ e assume-se ser constante e exogenamente determinada.

Seguindo [Goodwin \(1967\)](#), a produtividade média do trabalho cresce a uma taxa constante e exogenamente determinada $\alpha > 0$, dito de outra maneira, o progresso técnico é do tipo Harrod-neutro:

$$a(t) = (1 + \alpha)a(t - 1). \quad (1.13)$$

Adota-se ainda a hipótese clássica no que diz respeito à poupança. Ou seja, toda a massa de lucro da firma j no período $t - 1$, dada por $Y_j(t - 1) - w_j(t - 1)L_j(t - 1)$, é convertida em investimento. Dessa forma,

Agent-based computational economics (ACE) is the computational study of economic processes modeled as dynamic systems of interacting agents. Here "agents" refers broadly to bundled data and behavioral methods representing an entity constituting part of a computationally constructed world ([Tsfatsion 2006](#), p. 835).

e considerando que não há depreciação, a taxa de lucro no período $t - 1$ pode ser expressa como segue:

$$\rho_j(t-1) \equiv \frac{Y_j(t-1) - w_j(t-1)L_j(t-1)}{K_j(t-1)} = \frac{1}{\sigma} \left[1 - \frac{w_j(t-1)}{a(t-1)} \right]. \quad (1.14)$$

Como toda massa de lucro é convertida em investimento, a lei de movimento do estoque de capital é dada por:

$$K_j(t) = [1 + \rho_j(t-1)]K_j(t-1). \quad (1.15)$$

Como evidenciado pelas equações (1.12), (1.14) e (1.15), há neste sistema econômico heterogeneidade tanto do nível de produto quanto do estoque de capital das firmas que habitam esta economia. Além disso, supõe-se que não há problema de demanda efetiva no nível agregado, ou seja, não existe excesso de oferta no nível macro e nem problema de *mismatching* no nível micro.

Adota-se o pressuposto goodwiniano de que o sistema econômico é limitado pelo tamanho da força de trabalho. Portanto, tem-se que a quantidade de trabalho empregada em cada firma é dada por:

$$L_j(t) = \begin{cases} \frac{K_j(t)}{a(t)\sigma}, & \text{se } K_j(t) < a(t)\sigma N_j(t), \\ N_j(t), & \text{caso contrário,} \end{cases} \quad (1.16)$$

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

A quantidade de mão de obra disponível neste sistema econômico, o tamanho dos sindicatos, cresce a uma taxa $\beta > 0$ constante e exogenamente determinada:

$$N_j(t) = (1 + \beta)N_j(t-1). \quad (1.17)$$

Como já observado no início desta seção, a determinação de salários neste modelo será dado por um processo de barganha salarial que ocorrerá sob a forma de leilões duplos entre firmas e sindicatos de trabalhadores. Antes do início do processo produtivo no período t , firmas e sindicatos entram em processo de barganha salarial para obter o salário acordado entre as partes. Os gestores da firma j farão uma oferta salarial, $w_j^o(t)$, e o sindicato j associado a esta firma fará uma proposta de demanda salarial, $w_j^d(t)$. Estas propostas serão elementos da sequência $\{W(t)\}$ de M elementos linearmente distribuídos entre o salário nulo, 0, e a produtividade média do trabalho em t , $a(t)$, ou seja:

$$W(t) = \left\{ 0, \frac{a(t)}{M-1}, \dots, \frac{(M-2)a(t)}{M-1}, a(t) \right\}, \quad (M \geq 2) \in \mathbb{N}.$$

Caso a demanda salarial supere a oferta salarial oferecida pelos ges-

tores da firma j , não haverá acordo salarial possível. Caso contrário, o fechamento de um acordo salarial torna-se factível e o salário acordado será um elemento do seguinte conjunto de acordos salariais viáveis:

$$A_j(t) = \{x \in \mathbb{R}_+ : w_j^d(t) \leq x \leq w_j^o(t)\}. \quad (1.18)$$

Visando manter a estrutura proposta por Goodwin (1967) de que o acordo salarial depende, fundamentalmente, do tamanho do exército industrial de reserva naquele período e que o crescimento do salário é mais rápido na vizinhança do pleno emprego, Silveira (2012) utiliza a seguinte função sigmóide da taxa de emprego da economia:

$$g(v(t)) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda(v(t) - \mu))}, \quad (1.19)$$

sendo $v(t) \equiv \frac{\sum_{j=1}^F L_j(t)}{\sum_{j=1}^F N_j(t)}$ a taxa de emprego da economia, $\lambda > 0$ e $0 < \mu < 1$ constantes paramétricas. Silveira (2012) observa que a equação (1.19) goza das seguintes propriedades relevantes: a função sigmóide é estritamente crescente na taxa de emprego, além disso, para um dado valor de μ , aumentando-se o valor de λ faz-se com que a função passe tão próximo de zero em $v(t) = 0$ e de um em $v(t) = 1$ quanto se queira. Além disso, esta função apresenta convexidade estrita para valores da taxa de emprego menores do que μ e concavidade estrita para valores maiores.

Utilizando-se a função (1.19) é possível particionar o conjunto (1.18) da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} A_j^i(t) &= \{x \in A_j(t) : w_j^d(t) \leq x \leq [1 - g(v(t))]w_j^d(t) + g(v(t))w_j^o(t)\} \\ A_j^s(t) &= \{x \in A_j(t) : [1 - g(v(t))]w_j^d(t) + g(v(t))w_j^o(t) \leq x \leq w_j^o(t)\} \end{aligned}$$

Com as partições acima especificadas a seguinte regra de acordo salarial é possível: após gerar-se, por uma distribuição uniforme, um número real aleatório $n(t) \in [0,1]$, se $n(t) \leq g(v(t))$ escolhe-se aleatoriamente um número real da partição $A_j^s(t)$, caso contrário escolhe-se aleatoriamente um número real da partição $A_j^i(t)$. A saída deste algoritmo será o salário acordado entre firmas e sindicatos $w_j(t)$.

Neste modelo é permitido que firmas e sindicatos revisem a seleção de estratégias salariais ao longo do tempo. Utilizar-se-á o mecanismo de aprendizado por reforço (*reinforcement learning*) para governar a seleção e revisão de estratégias tanto de firmas quanto de sindicatos. Segundo este mecanismo, os agentes em questão avaliarão recorrentemente em cada período o desempenho das seleções de estratégias passadas buscando optar por aquelas estratégias que oferecem as maiores recompensas possíveis dentro dos acordos salariais. No processo de barganha salarial descrito por este modelo, o objetivo tanto de firmas quanto de sindicatos é selecionar, recorrentemente, a melhor proposta salarial possível dadas as característi-

cas do ambiente econômico nos períodos corrente e anteriores. Os agentes autônomos deste sistema econômico, portanto, visando melhorar as propostas salariais com o passar do tempo aprendem "*by directly interacting with the system (its environment) and responding to the receipt of rewards or penalties based on the impact each action has on the system*, (Wang & Usher 2005, p. 75)". Esta evolução na inteligência de um agente autônomo no processo de barganha salarial pode, então, ser descrito apropriadamente por um mecanismo de aprendizado por reforço.

O mecanismo de aprendizado por *reinforcement learning*, como observam Roth & Erev (1995), reforça a probabilidade de uma estratégia que apresentou recompensa positiva em períodos anteriores ser escolhida no período corrente, ao mesmo tempo que enfraquece a probabilidade de escolha daquelas estratégias que apresentaram desempenhos indesejáveis. Esta propriedade é conhecida como lei do efeito (*law of effect*). Além da lei do efeito, modelos de aprendizado por reforço apresentam outra propriedade robusta, a saber, a lei de potência da prática (*power law of practice*), o aprendizado ocorre inicialmente a taxas crescentes e após determinado momento a taxas decrescentes.

No entanto, em ambientes de interação estratégica com múltiplos tomadores de decisões, Erev & Roth (1998) observaram que as duas propriedades descritas anteriormente não explicam suficientemente bem a sensibilidade dos tomadores de decisão aos outros tomadores de decisão presentes no ambiente de interação. Tendo observado isso, propuseram dois princípios adicionais que buscam contornar esta deficiência, o efeito recenticidade (*recency effect*) e o efeito experimentação (*experimentation effect*). Segundo os autores:

O primeiro efeito diz respeito à maior importância das experiências recentes sobre a tomada de decisão individual do que as experiências vividas num passado mais distante, podendo ser visto como resultado da interação entre as duas leis supracitadas (Erev & Roth 1998, p. 863). O segundo efeito destaca que, não só as escolhas que têm levado a bons resultados no passado são mais prováveis de serem repetidas no futuro, mas também escolhas parecidas serão feitas mais frequentemente. Esse efeito evita que os tomadores de decisão fiquem presos a uma escolha em detrimento das outras (Erev & Roth 1998, p.863), (Silveira 2012, p. 686).

Levando em conta as propriedades descritas acima, cada agente deste sistema econômico (cada firma e cada sindicato) associará uma propensão à cada estratégia possível. Essa propensão de escolha de estratégias, será atualizada com base nas recompensas obtidas no período anterior. Formalmente, para $t > 1$, cada sindicato j atualizará sua propensão de

escolha da demanda salarial m , $q_{j,m}^s(t)$, de acordo com a seguinte função de atualização de propensão:

$$q_{j,m}^s(t) = (1 - \phi)q_{j,m}^s(t-1) + E^s(j, m, m', M, \psi, t-1), \quad (1.22)$$

de maneira análoga, a propensão de escolha da firma j , $q_{j,m}^f(t)$ será atualizada da seguinte maneira:

$$q_{j,m}^f(t) = (1 - \phi)q_{j,m}^f(t-1) + E^f(j, m, m', M, \psi, t-1), \quad (1.23)$$

sendo ϕ o parâmetro de recenticidade (ou esquecimento), ψ o parâmetro de experimentação (ou generalização), $E^s(\bullet)$ e $E^f(\bullet)$ as funções que atualizam as propensões de escolha, calculadas com base na experiência adquirida nas barganhas salariais passadas. Quanto maior o parâmetro ϕ , maior a importância das experiências recentes em comparação às experiências passadas.

Seguindo Nicolaisen et al. (2000), as funções de atualização de sindicatos e firmas são dadas por:

$$E^s(j, m, m', M, \psi, t-1) = \begin{cases} (1 - \psi)R_{j,m'}^s(t-1), & \text{se } m = m', \\ \frac{\psi}{M-1}q_{j,m'}^s(t-1), & \text{se } m \neq m', \end{cases} \quad (1.24)$$

$$E^f(j, m, m'', M, \psi, t-1) = \begin{cases} (1 - \psi)R_{j,m''}^f(t-1), & \text{se } m = m'', \\ \frac{\psi}{M-1}q_{j,m''}^f(t-1), & \text{se } m \neq m'', \end{cases} \quad (1.25)$$

sendo $R_{j,m'}^s(t) = \frac{L_j(t)w_j(t)}{N_j(t)}$ a recompensa do sindicato j e $R_{j,m''}^f(t) = \frac{1}{\sigma} \left[1 - \frac{w_j(t)}{a(t)} \right]$ a recompensa da firma j .

Para o período $t = 1$, supõe-se que cada sindicato j associa à demanda salarial m a mesma propensão de escolha e, portanto: $q_{j,m}^s(1) = \frac{\bar{w}}{M}$, onde $\bar{w} = \frac{\alpha(1)}{2}$ é o salário real médio. Analogamente, cada firma associa no período inicial a mesma propensão de escolha à sua oferta salarial, portanto: $q_{j,m}^f(1) = \frac{\bar{r}}{M}$, sendo $\bar{r} = \frac{1}{2\sigma}$ a taxa de lucro média em $t = 1$. Além disso, cada firma e sindicato associam a mesma probabilidade de escolha a cada uma de suas ofertas e demandas salariais, a saber: $p_{j,m}^{s,f} = \frac{1}{M}$.

A partir das propensões de escolha atualizadas, as probabilidades de escolhas dos agentes são atualizadas da seguinte forma:

$$p_{j,m}^l(t) = \frac{q_{j,m}^l(t)}{\sum_{h=1}^M q_{j,h}^l(t)}, \quad l \in \{s, f\}. \quad (1.26)$$

A função de atualização da propensão de escolhas assim descrito permite observar que uma estratégia que apresente retorno positivo em um dado período t terá sua propensão de escolha reforçada em $t + 1$, dado que o reforço da recompensa estritamente positivo, descontado o efeito experimentação, tende a superar o maior fator de contração $(1 - \phi)$. Por sua vez,

estratégias que apresentem recompensa nula em t , terão sua propensão de escolha reduzida na proporção $(1 - \phi)$ no período $t + 1$, enquanto as demais propostas serão reduzidas à proporção $(1 - \phi^*)$ das respectivas propensões atuais. [Silveira \(2012, p. 688\)](#) observa que como $1 - \phi^* > 1 - \phi$, as probabilidades de escolha das propostas não selecionadas aumentam relativamente a probabilidade de escolha da proposta selecionada, induzindo o tomador de decisão a se afastar da proposta que gerou recompensa nula.

1.2.2 Propriedades macroeconômicas emergentes do modelo de [Silveira \(2012\)](#)

As conclusões desta nova abordagem dada ao modelo de [Goodwin \(1967\)](#) são assim sintetizadas por [Silveira \(2012\)](#): o modelo computacional baseado em agentes gerou séries agregadas oscilantes em torno de médias constantes; estas oscilações apresentaram amplitudes limitadas em intervalos economicamente significativos para as variáveis macroeconômicas-chaves, a saber, taxa de emprego e participação dos salários na renda; foram geradas regularidades macroeconômicas emergentes da média da participação dos salários na renda compatíveis com o comportamento previsto originalmente em [Goodwin \(1967\)](#); quanto à taxa de emprego, alguns resultados emergentes divergiram dos derivados no modelo original. [Silveira \(2012\)](#) atribui estas diferenças, em parte, à premissa de linearidade da função barganha adotada em [Goodwin \(1967\)](#).

O mercado de trabalho descentralizado sob a forma de leilões duplos entre firmas e sindicatos proposta por [Silveira \(2012\)](#) permite a existência de diferenciais de salários pagos a trabalhadores homogêneos neste sistema econômico. Os resultados obtidos evidenciam que o diferencial de salários não só existe como é persistente ao longo das simulações. A existência e persistência de diferenciais de salário tanto inter quanto intraindústrias é um fato estilizado da literatura econômica. Há robustas evidências empíricas de que as diferenças de salários são "*substantial, stable over time, and remain after one controls for a set of observed individual and job characteristics*", ([Katz 1986, p. 282](#)).

Mas cabe ressaltar que no modelo proposto por [Silveira \(2012\)](#), a heterogeneidade de salários coexiste com homogeneidade da produtividade do trabalho. No entanto, quando há homogeneidade dos trabalhadores quanto ao nível de capital humano, como suposto no trabalho de [Silveira \(2012\)](#), a existência de firmas que paguem um salário relativamente mais elevado faz com que o emprego seja um bem valioso para o trabalhador associado a esta firma. Portanto, este trabalhador terá um incentivo para exercer um nível maior de esforço no seu trabalho.

Este maior incentivo de um trabalhador em exercer um nível maior de esforço quanto maior for o salário real impõe uma relação positiva e endógena do nível de esforço com relação aos salários. Esta relação é bem

documentada pela literatura econômica tanto empírica quanto experimental.

Portanto, em resumo, no modelo de [Silveira \(2012\)](#) é permitida a coexistência de heterogeneidade de salários persistente com homogeneidade da produtividade do trabalho. No presente trabalho, no entanto, a heterogeneidade de salários coexistirá com heterogeneidade, também, da produtividade do trabalho, dado que o nível de esforço do trabalho será endógeno com relação ao diferencial de salários.

Capítulo 2

Persistência de diferenciais de salários, endogeneidade do esforço do trabalho e heterogeneidade da produtividade do trabalho

2.1 Diferenciais de salários e esforço do trabalho

2.1.1 Persistência de diferenciais de salários

Os rendimentos de um indivíduo participante do mercado de trabalho são questões centrais tanto para famílias e firmas quanto para formuladores de políticas econômicas. De acordo com a teoria econômica tradicional - o modelo Walrasiano (competitivo) - para o mercado de trabalho, o salário de equilíbrio é determinado pela produtividade marginal dos trabalhadores. Esta característica do mercado Walrasiano implica que dois trabalhadores produtivamente idênticos devem, necessariamente, receber salários idênticos. Como observam [Groshe](#) (1991) e [Osborne et al.](#) (2001) esta assertiva teórica carece de maior suporte empírico.

Motivados por esta observação, [Dickens & Katz](#) (1987) e [Krueger & Summers](#) (1988) observaram que se o mercado de trabalho for, de fato, competitivo, os salários dependem apenas das características dos trabalhadores e não do tipo de indústria que os emprega. Estes autores, como observa [Romer](#) (2012), propuseram modelos de regressões convencionais para os salários incluindo variáveis *dummy* para as indústrias em que os trabalhadores estão empregados:

$$\ln w_i = \alpha + \sum_{j=1}^M \beta_j X_{ij} + \sum_{k=1}^N \gamma_k D_{ik} + \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

sendo w_i o salário pago ao trabalhador i , X_{ij} as características observáveis dos trabalhadores (idade, grau de escolaridade, gênero, ocupação, por exemplo) e D_{ik} são as variáveis *dummy* para o emprego em diferentes indústrias. Se o mercado de trabalho é competitivo (ou Walrasiano) espera-se que apenas as características observáveis dos empregados sejam determinantes dos salários recebidos e, portanto, os coeficientes das variáveis *dummy* sejam estatisticamente iguais a zero.

No entanto, [Dickens & Katz \(1987\)](#) e [Krueger & Summers \(1988\)](#) observaram que não só os coeficientes γ_k são estatisticamente significantes como são, também, quantitativamente elevados. Portanto, os autores demonstraram que para a economia norte-americana existem diferenças salariais entre trabalhadores empregados em diferentes indústrias mas com as mesmas características observáveis.

Algumas possíveis e convencionais explicações para o diferencial de salários observado são imediatamente descartados por estes autores, a saber: (i) salários elevados em algumas indústrias são meramente reflexo de aspectos indesejados e não mensuráveis das condições de trabalho; (ii) refletem apenas ajustes transitórios no mercado de trabalho e; (iii) são resultados de poder de barganha de trabalhadores sindicalizados.

Quanto às condições de trabalho, [Krueger & Summers \(1988\)](#) observam que más condições de trabalho podem sim induzir a salários mais altos em algumas indústrias como, por exemplo, mineração. A indústria de mineração, de fato, apresenta salários mais altos que a média dos salários das indústrias. No entanto, esta superioridade dos salários de trabalhadores da citada indústria é observada também para secretários empregados neste tipo de indústria. E como observa [Thaler \(1989, p. 183\)](#), as condições de trabalho para este tipo de serviço realizado não parece diferir tanto entre indústrias, portanto, "*why should secretaries and managers be highly paid in these industries?*". Além disso, se os salários mais altos são apenas reflexos das más condições de trabalho não há motivos para haver correlação entre taxa de salários das indústrias e as taxas de demissões. No entanto, como observa [Thaler \(1989, p. 184\)](#), indústrias que pagam salários mais altos tendem a ter taxas mais baixas de demissões. Portanto, como conclui [Romer \(2012\)](#), não há evidências de que as condições de trabalho das indústrias de alto salários são inferiores.

Em 1950, o estudo de [Slichter \(1950\)](#) evidenciou um padrão estável para o pagamento de salários nas indústrias para o período de 1923 a 1946. [Krueger & Summers \(1988\)](#) atualizaram o estudo citado comparando o padrão obtido por [Slichter \(1950\)](#) com os dados de 1984. [Krueger & Summers \(1988\)](#) observaram que

relatively high-wage industries in 1923 such as auto manufacturing continued to be high-wage industries in 1984, and low-wage industries such as boot

and shoe manufacturing continued to be low-wage industries in 1984 (Krueger & Summers 1988, p. 22).

Estes resultados indicam que o diferencial de salários interindústrias não é um fenômeno recente e nem transitório, Thaler (1989, p. 182-183). E, portanto, a evidência não indica que o diferencial de salários reflete ajustes transitórios no mercado de trabalho.

Romer (2012) observa que os diferenciais estimados são essencialmente os mesmos quando a amostra é restrita a trabalhadores não sindicalizados, indicando que o diferencial de salários não parecem decorrer de poder de barganha dos trabalhadores sindicalizados.

Dada a incompatibilidade das possíveis explicações citadas anteriormente com os dados, Krueger & Summers (1988) observam que só há duas classes de explicações teóricas logicamente consistentes com os fatos estilizados por eles observados. Ou as firmas estão optando por não maximizar lucros ou, por alguma razão, firmas de altos salários consideram que baixar seus salários induziria reduções de lucros, Thaler (1989, p. 186). No entanto, como observa Thaler (1989, p. 187), há uma escassez de abordagens formais que visem explicar os diferenciais de salários com *agency models* pressupondo gerentes que possuem preferências tanto por lucros quanto por empregados com salários mais altos, estes modelos deveriam explicar porque os gerentes optariam por pagar salários superiores aos otimizadores de lucros.

Quanto à segunda classe de modelos, são modelos consistentes com a premissa de maximização de lucros mas que os salários superam o custo de oportunidade do trabalho. Estes modelos assumem que um nível mais elevado de salário aumenta o produto da firma (salário-eficiência).

Os modelos de salário-eficiência assumem que a produção de uma firma é função, também, do esforço dispendido por parte dos trabalhadores. O pressuposto essencial desta classe de modelos é de que o esforço por trabalhador é função crescente da taxa de salário. Portanto, o nível de salário condizente com a otimização de lucros por parte da firma pode ser superior ao salário que otimiza lucros em um mercado competitivo. Esta relação positiva entre esforço e salários será discutida na subseção seguinte. Cabe ressaltar, no entanto, que há modelos distintos ao modelo de salário-eficiência genérico. Esta diferença tem origem na origem da relação positiva entre esforço e salários.

Dada a inexistência de contratos completos entre trabalhadores e firmas, Shapiro & Stiglitz (1984) propõem um modelo em que os trabalhadores têm uma maior discrição quanto ao nível de esforço sob o qual realizam suas tarefas. Neste dado cenário há um incentivo para que as firmas paguem salários superiores ao competitivo e, portanto, diminuam o incentivo de que os trabalhadores esquivem-se (*shirk*) do trabalho, dado que quando estes são pegos esquivando-se isto implicaria em reduções de rendimentos dos trabalhadores, já que serão despedidos. De acordo com este modelo, as indústrias de altos salários deverão ser aquelas com maior custo de mo-

nitidamente e/ou aquelas indústrias em que o custo de *shirking* por parte dos trabalhadores é relativamente alto.

Outra possibilidade é de que as firmas paguem salários mais altos visando reduzir a rotatividade de pessoal (*turnover models*), Salop (1979) e Stiglitz (1974). A ideia é elevar salários visando reduzir a taxa de demissões por parte dos trabalhadores. Estes modelos são formalmente idênticos aos *shirking models*, Thaler (1989). Segundo esta classe de modelos, as indústrias que apresentam salários mais elevados devem ser aquelas que apresentam um custo de rotatividade relativamente mais elevado.

Além dos dois modelos explicitados acima, os modelos de seleção adversa (*adverse selection models*) e salários-justos (*fair wage models*) também explicam porque as firmas optam por pagar um salário mais elevado acreditando que reduções de salários implicariam em reduções de lucros. Modelos de seleção adversa assumem que a qualidade média do *pool* de candidatos a um trabalho aumenta com a taxa de salário. Já os modelos de salários-justos assumem que o nível de esforço dos trabalhadores será mais elevado quando estes acharem que estão sendo remunerados de maneira justa¹.

No entanto, Romer (2012, p. 503) observa que as indústrias que apresentam salários mais elevados tendem a ter uma razão capital/trabalho mais elevada, trabalhadores com graus de escolaridade mais altos e mais experientes, além de lucratividade mais elevada. Além disso, possuem maiores estabelecimentos e maiores proporções de trabalhadores do gênero masculino e sindicalizados. Romer (2012) observa que nenhum modelo de salário-eficiência sozinho consegue explicar todos estes padrões. Por fim, as regularidades evidenciadas pela literatura empírica de diferenciais de salários diferem consideravelmente do que é previsto pelas teorias de mercado de trabalho acima descritas. Como observam Silveira & Lima (2014)

the reasons explaining the existence and persistence of inter- and intra-industry wage differentials still constitute an unsolved puzzle, and the role played by unobserved workers' characteristics in explaining such wage differentials remains unsettled (Silveira & Lima 2014, p. 2).

Cabe ressaltar ainda que a existência e persistência de diferenciais de salários é verificada empiricamente não só entre trabalhadores de indústrias distintas. Motivado pela literatura de diferenciais de salários inter-indústrias, Groshen (1991) realiza uma análise de variância (ANOVA) controlando as características observáveis das ocupações do trabalho e conclui que o diferencial de salários intra-indústrias varia quase que a mesma quantidade que o diferencial de salários observado entre indústrias:

¹Para maiores detalhes para estas duas classes de modelo consultar Thaler (1989), Stiglitz (1976), Weiss (1980), Akerlof (1982).

Observed human capital explains less than half of wage variation. In Bureau of Labor Statistics (BLS) Industry Wage Surveys, establishment-based wage differentials (controlling for occupation) account for 20-70 percent of intra-industry wage variation. This corresponds to a standard deviation in wages of 14 percent of the mean, almost as large as interindustry wage variation. Investigation suggests that establishment wage differentials are not random variations or returns to usual measures of human capital (Groshen 1991, p. 869).

No trabalho de Silveira (2012), modelo que será usado como referência para este trabalho, a heterogeneidade de salários parece emergir das interações descentralizadas e não centralmente coordenadas em um ambiente de racionalidade limitada. Como as estratégias de oferta e demanda salariais são descritas por um mecanismo de aprendizado por reforço, é o histórico de seleção de estratégias de um agente que vai reforçar ou enfraquecer a probabilidade de uma demanda ou oferta salarial ser escolhida. Como os históricos de dois agentes não são necessariamente iguais, a heterogeneidade de salários acordados entre firmas e sindicatos pode persistir ao longo das simulações. Portanto, uma firma pode optar por uma estratégia de salário alto porque suas experiências passadas mostraram que esta estratégia foi a que rendeu um maior *payoff* quando comparada às outras estratégias experimentadas. No entanto, quando há acordo salarial entre firmas e sindicatos e o salário acordado é mais elevado que a média de salários praticados na economia, todo este salário em excesso retorna inteiramente para os trabalhadores, já que o nível de esforço de um trabalhador independe da taxa de salário. É esta inconsistência teórica que o modelo proposto neste trabalho tem por objetivo resolver, tornando o nível de esforço dispendido pelos trabalhadores endógeno ao diferencial de salários.

Em resumo, a literatura empírica tem mostrado a existência e persistência de diferenciais de salários (*rent* salariais) tanto inter quanto intra-indústrias mesmo após o controle por capital humano e características observáveis do emprego:

(...) *apparently similar individuals receive quite different earnings: a person's age, years of schooling, years of labor market experience, parents' level of schooling, occupation and income tell us surprisingly little about the individual's earnings* (Osborne et al. 2001, p. 2).

Estas diferenças de salários são "*substantial, stable over time, and remain after one controls for a set of observed individual and job characteristics*",

(Katz 1986, p. 282). Uma das abordagens teóricas que investiga os determinantes da existência de diferenciais de salários é a classe de modelos do tipo salário-eficiência. Esta classe de modelos é consistente com o pressuposto de maximização de lucros, mas ao tornar endógeno o esforço por trabalhador, que mantém relação positiva com a taxa de salários, a conclusão teórica é a de que uma firma que paga um salário acima do salário competitivo não reduz os salários pagos pois esta redução implicaria em reduções de lucros. É esta relação positiva entre nível de esforço e salários que será investigada na subseção a seguir e será o foco do modelo proposto neste trabalho.

2.1.2 Endogeneidade do esforço do trabalho com relação ao salário

Na subseção anterior é mencionada uma classe de modelos que combina, de maneira consistente teoricamente, a coexistência de salários acima dos de nível competitivo com o comportamento maximizador de lucros por parte das firmas. Esta classe de modelos, salário-eficiência, tem como principal característica a existência de uma função de esforço por trabalhador que depende positivamente dos salários. Esta relação positiva entre níveis de esforço e salários pressuposta pela teoria do salário eficiência é suportada não só pela literatura empírica mas, também, pela literatura experimental.

Fehr & Falk (1999) conduziram leilões duplos experimentais que os permitiram concluir que o esforço dos trabalhadores é positivamente relacionado ao nível de salário, com os trabalhadores escolhendo níveis baixos de esforço em resposta a salários baixos e níveis altos de esforço em resposta a salários altos. Fehr et al. (1998), por sua vez, conduziram experimentos em um mercado de trabalho competitivo experimental com barganhas bilaterais, sendo as firmas fixadoras de salários e trabalhadores fixadores de esforço. Neste mercado, a incompletude dos contratos de trabalho decorre da não estipulação do nível de esforço nos contratos e da possibilidade de trabalhadores responderem a salários altos com escolhas de esforços não-mínimos. Os resultados destes experimentos mostraram que o comportamento recíproco dos trabalhadores é um fenômeno persistente, com os níveis de esforço variando positivamente com o pagamento de salários. Nos experimentos laboratoriais conduzidos por Charness & Kuhn (2007) os resultados obtidos continuam mostrando que as escolhas de esforço dos trabalhadores são altamente sensíveis (positivamente) aos salários recebidos.

Além da evidência experimental citada anteriormente, Goldsmith et al. (2000) estimaram simultaneamente as equações de salário real estrutural e de esforço dos trabalhadores. Utilizando dados do *National Longitudinal Survey of Youth* (NLSY) de 1992, os autores concluem que trabalhadores que recebem um prêmio salarial (um salário que excede os salários pagos

por outras firmas para trabalhadores comparáveis) aumenta o nível de esforço com que o trabalhador realiza suas tarefas, de maneira similar, observaram que trabalhadores que apresentavam um maior nível de esforço recebem salários mais altos.

Romer (2012) destaca que as possíveis causas da relação positiva entre níveis de esforço e salários. Um salário mais alto pode implicar em um maior consumo de bens essenciais à nutrição dos trabalhadores e, portanto, um trabalhador mais bem nutrido apresentará maior esforço e, por consequência, maior produtividade. No entanto, este motivo parece irrelevante para economias capitalistas desenvolvidas.

Quando há dificuldade de monitoramento dos trabalhadores por parte das firmas, uma estratégia de salários mais altos pode implicar em maior esforço. Como já observado anteriormente, em mercados de trabalho walrasianos, trabalhadores são indiferentes quanto a perder o emprego dado que trabalhos idênticos tornam-se, imediatamente, disponíveis. Isto implica que os trabalhadores não têm incentivo para realizarem suas tarefas sob um nível de esforço maior. Portanto, se as firmas com dificuldade de monitoramento têm o despedimento como único mecanismo de punição a trabalhadores de baixa produtividade, este mecanismo torna-se inócua em um mercado de trabalho Walrasiano. No entanto, se a firma opta por pagar um salário acima do de mercado competitivo o emprego em uma firma que adote esta estratégia torna-se um bem valioso e, portanto, há um incentivo para que estes trabalhadores sejam mais produtivos mesmo que haja a possibilidade de não serem pegos esquivando-se do trabalho.

Outra possível explicação é que firmas que optam por uma estratégia de salário mais alto podem aperfeiçoar habilidades dos seus trabalhadores em dimensões não-observáveis para as firmas.² Como observa Romer (2012), se trabalhadores mais hábeis possuem um salário de reserva mais elevado, a firma ao oferecê-lo um salário mais alto aumenta a qualidade do *pool* de candidatos e, portanto, aumenta a habilidade média dos trabalhadores contratados, este é o argumento de Weiss (1980).

Por fim, como observam Akerlof & Yellen (1990), um salário mais alto pode construir uma relação de lealdade entre os trabalhadores e, portanto, induzir a um nível maior de esforço. Ao mesmo tempo em que salários mais baixos podem diminuir o contentamento dos trabalhadores podendo acarretar em "sabotagens" no trabalho.

Portanto, para teorias de salário-eficiência, visando extrair um nível maior de esforço por parte dos trabalhadores, uma firma deve oferecer um salário mais elevado. Esta abordagem é formalmente idêntica à abordagem de *contested exchange* proposta por Bowles & Gintis (1990). Nesta abordagem, os autores mostram que é necessária a existência de uma função de extração de trabalho que especifique o quanto de trabalho efetivo

²Caso estas habilidades sejam observáveis não seria caracterizado um desvio do mercado de trabalho Walrasiano, dado que o salário mais alto seria, simplesmente, o resultado de uma maior produtividade marginal do trabalho.

uma firma obtem para um dado nível de *input* de trabalho. Formalmente, tanto esta função de extração de trabalho quanto a função de esforço do trabalhador das teorias de salário-eficiência, são representadas da seguinte maneira:

$$e = e(w), \quad e'(\bullet) > 0, \quad e''(\bullet) < 0, \quad (2.2)$$

onde e denota o esforço do trabalhador e w o salário.

A função esforço (2.2) é uma função simples em que o nível de esforço depende exclusivamente dos salários. No entanto, como observa [Romer \(2012, p. 463\)](#), "*with many potential sources of efficiency wages, the wage is unlikely to be the only determinant of effort*". No caso em que o salário afeta o esforço devido à impossibilidade de monitoramento perfeito dos trabalhadores por parte das firmas e em que há preocupação dos trabalhadores quanto à perda de emprego, o custo de um trabalhador ser despedido depende não apenas do salário recebido em um trabalho mas, também, do quão fácil é para este trabalhador obter um novo trabalho e o salário que será recebido neste novo emprego. Portanto, neste caso, o nível de esforço de um trabalhador será maior quando a taxa de desemprego for elevada. No caso em que o salário pago pelas outras firmas é mais alto, o esforço despendido por um trabalhador será mínimo.

Considerado isso, a taxa de desemprego e o diferencial de salários parecem ser os determinantes do nível de esforço despendido por um trabalhador. Formalmente, a função de esforço generalizada torna-se:

$$e = e(w, w_a, u), \quad e_1(\bullet) > 0, \quad e_2(\bullet) < 0, \quad e_3(\bullet) > 0, \quad (2.3)$$

sendo w_a o salário pago pelas outras firmas e u a taxa de desemprego, os subscritos denotam as derivadas parciais.

Em resumo, há robustas evidências tanto empíricas quanto experimentais de que o nível de esforço com que um trabalhador realiza suas tarefas é positivamente relacionado com o salário pago pela sua firma empregadora. Portanto, dado esta endogeneidade do esforço com relação aos salários, visando extrair uma maior quantidade de esforço dos seus trabalhadores, uma firma deve praticar um salário mais alto. Esta existência de uma função de extração de trabalho onde o esforço depende positivamente dos salários é observada tanto nas teorias de salário-eficiência quanto na abordagem de *contested exchange* de [Bowles & Gintis \(1990\)](#). Além disso, estas duas abordagens são formalmente idênticas. Por fim, como observado em [Romer \(2012\)](#), é pouco provável que o salário seja o único determinante do nível de esforço. Considerado isso, uma função esforço generalizada é proposta, tendo como determinantes do esforço o salário pago pela firma empregadora, os salários pagos pelas outras firmas e a taxa de desemprego da economia.

2.2 Ciclos de crescimento goodwinianos e a hipótese de salário eficiência - Modelo de Choi (1995)

Como já observado anteriormente, o modelo original de Goodwin (1967) pressupõe que a produtividade do trabalho cresce a uma taxa constante e exogenamente determinada. Dito de outra forma, o esforço do trabalho, e por consequência a produtividade, independe dos salários reais. Entretanto, extensões do modelo que visem incorporar a hipótese de salário-eficiência ao modelo de Goodwin (1967) são possíveis e foram feitas por Choi (1995) e Manfredi & Fanti (2000).

O modelo de Choi (1995) tem por objetivo determinar se a tese de Goodwin de que "*the very structure of capitalism constitutes a homeostatic mechanism which functions by means of variations in distribution shares but does so in such a way as to keep them constant in the long run*" (Choi 1995, p. 223-224) continua válida sob a hipótese de salário-eficiência. Dito de outra forma, o objetivo é verificar a robustez dos ciclos de crescimento de Goodwin quando o nível de esforço do trabalho depende do nível do salário real.

A incorporação da hipótese de salário-eficiência ao sistema econômico descrito pela macrodinâmica clássica goodwiniana pressupõe algumas alterações na estrutura formal do modelo original. No caso do modelo de Choi (1995), a produtividade do trabalho depende do nível de salário real, ao invés de crescer a uma taxa constante e exogenamente determinada, formalmente:

$$e \equiv \frac{Y}{L} = e(W), \quad (2.4)$$

sendo e a produtividade do trabalho e $e(W)$ uma função continuamente diferenciável que depende do salário real W . Neste caso, a taxa de crescimento da produtividade do trabalho é dada por $\frac{\dot{e}(W)}{e(W)} = \epsilon(W) \frac{\dot{W}}{W}$, sendo $\epsilon(W) \equiv \frac{de(W)}{dW} \frac{W}{e(W)}$ a elasticidade do esforço do trabalho com relação ao salário real.

A função de produção torna-se, portanto:

$$Y = \min \left(e(W)L, \frac{K}{\sigma} \right), \quad (2.5)$$

ressaltando que a notação é a mesma utilizada na seção 1.1 deste trabalho.

O restante da estrutura formal que descreve os pressupostos do modelo de Goodwin (1967) permanece idêntica no modelo de Choi (1995).

Do conjunto de equações que sintetizam o sistema econômico é possível derivar o seguinte sistema bidimensional de equações diferenciais autônomas e não-lineares:

$$\begin{aligned}\dot{V} &= f(V,W) = \left(\frac{1}{\sigma} - \beta\right)V - \left(\frac{u(W)}{\sigma} - \gamma\epsilon(W)\right)V - \delta\epsilon(W)V^2, \\ \dot{W} &= g(V,W) = -\gamma + \delta VW,\end{aligned}\tag{2.7}$$

sendo $u(W) \equiv \frac{W}{e(W)}$ a participação dos salários na renda.

O sistema bidimensional (2.6)-(2.7) implica que a trajetória de crescimento equilibrado desta economia satisfaz, além da solução trivial $(V,W) = (0,0)$, à seguinte solução não-trivial $(V,w) = (V_s, W_s)$ cujas coordenadas são:

$$V_s = \frac{\gamma}{\delta},\tag{2.8}$$

$$u(W_s) = \frac{W_s}{e(W_s)} = 1 - \beta\sigma.\tag{2.9}$$

O sistema não-linear derivado em Choi (1995) pode ser aproximado linearmente de maneira a obter o seguinte sistema linear de equações diferenciais:

$$\dot{v} = -\epsilon_s\gamma v - \frac{1}{\sigma e}(1 - \epsilon_s)\frac{\gamma}{\delta}w,\tag{2.10}$$

$$\dot{w} = \delta W_s v,\tag{2.11}$$

sendo $x(t) \equiv X(t) - X_s$ uma meta variável que indica o desvio da variável com relação ao estado estacionário (representado pelo subscrito s).

Choi (1995) observa que o sistema linearizado apresenta dois termos adicionais na dinâmica da taxa de emprego quando comparado ao sistema original de Goodwin (1967). O primeiro termo, $-\epsilon_s\gamma v$, é nomeado efeito da força de trabalho efetiva e indica que quando a taxa de salário real aumenta, se $\epsilon_s > 0$, o nível de esforço aumentará e, portanto, as firmas reduzirão o nível de emprego. O segundo efeito adicional, segundo Choi (1995, p. 228), é distributivo. Indica que quando a taxa de salário real aumenta, a participação dos lucros na renda diminuirá se $\epsilon_s < 1$ e aumentará no caso em que $\epsilon_s > 1$. Concluindo, se $\epsilon_s < 0$ o efeito distributivo será maior que no modelo de Goodwin (1967), caso $0 < \epsilon_s < 1$, será menor.

O Teorema Hartman-Grobman assegura que o sistema (2.10)-(2.11) da economia linearizada avaliado na trajetória de crescimento equilibrado é hiperbólico implicando, portanto, que a estabilidade da dinâmica não-linear da economia ao redor do equilíbrio estacionário pode ser completamente caracterizado pelo comportamento da economia linearizada, Choi (1995, p. 227).

A estabilidade local do equilíbrio estacionário pode ser resumida pelo

seguinte lema aqui exposto sem demonstração:³

Lema 1. (*Estabilidade local do equilíbrio estacionário*)

1. Se $\epsilon_s = 0$, o modelo de *Choi (1995)* colapsa no modelo de *Goodwin (1967)*.
2. Se $0 < \epsilon_s < 1$, o equilíbrio estacionário é localmente estável.
3. Se $\epsilon_s < 0$ ou $\epsilon_s > 1$, o equilíbrio estacionário é localmente instável.

Analisar apenas a trajetória de crescimento equilibrado na economia linearizada é insuficiente, segundo *Choi (1995)*, por dois motivos: (i) "*the major macroeconomic variables of real economies exhibit fluctuations while they are growing*" *Choi (1995, p. 229)*, portanto, uma aproximação de movimentos periódicos é uma abordagem mais apropriada, dado que movimentos periódicos ao redor do equilíbrio estacionário é um modelo de flutuações endógenas e; (ii) negligenciar as forças não-lineares, o que acontece quando considera-se apenas a linearização da economia, implica em desconhecimento do que acontece quando a economia segue uma trajetória instável, isto é, quando $\epsilon_s < 0$ ⁴. *Choi (1995)* observa que quando a economia se afasta do equilíbrio as forças não-lineares dominam as forças lineares. Além disso

if the nonlinear forces exert a stabilizing effect on the economy, the locally unstable path due to destabilizing linear forces will end up with a stable periodic motion, where the two forces cancel each other. This is the region where Goodwin's growth cycle appears. If we have destabilizing nonlinear forces, the locally unstable path will be globally unstable too (*Choi 1995, p. 229*).

Os resultados quanto à existência de ciclos de crescimento são resumidos no seguinte teorema demonstrado no Apêndice de *Choi (1995, p. 232-235)*⁵:

Teorema 1. (*Existência de ciclos de crescimento*)

1. Se $\epsilon_s = 0$, o modelo de *Choi (1995)* colapsa no modelo de *Goodwin (1967)*, ou seja, existe um ciclo de crescimento neutramente estável.
2. Se $\epsilon_s < 0$, o equilíbrio estacionário da economia é localmente instável. Além disso, se

³Para a prova consultar *Choi (1995, p. 228-229)*.

⁴*Choi (1995)* desconsidera o caso em que $\epsilon_s > 1$ dado que é desinteressante economicamente.

⁵Neste teorema, segundo (*Choi 1995, p. 230*), a é um coeficiente que revela o caráter das forças não-lineares que operam sobre a economia e é definido no apêndice do trabalho citado.

- (a) $a < 0$ existe um ciclo de crescimento estável (ou atrator) ao lado do equilíbrio estacionário.
- (b) $a > 0$, então o equilíbrio estacionário é, também, globalmente instável.
3. Se $0 < \epsilon < 1$, o equilíbrio estacionário da economia é localmente estável. Além disso, se
- (a) $a < 0$ então o equilíbrio estacionário é estável globalmente.
- (b) $a > 0$ existe um ciclo de crescimento instável ao lado do equilíbrio estacionário.

Em resumo, ao incorporar a hipótese de salário-eficiência à macrodinâmica clássica de Goodwin, Choi (1995) demonstrou que o ciclo de crescimento goodwiniano de movimento periódico neutramente estável existe se, e somente se, o nível de esforço do trabalhador decresce quando o salário real cresce. No entanto, uma elasticidade negativa do esforço do trabalho com relação ao salário real não está de acordo com os resultados empíricos e experimentais descritos na subseção 2.1.2 deste trabalho. Para o caso economicamente significativo, $0 < \epsilon_s < 1$, Choi (1995) demonstra que é impossível a existência de ciclos de crescimento.

O modelo proposto neste trabalho, detalhado na próxima seção, tem por objetivo conciliar as evidências empíricas de coexistência entre flutuações endógenas recorrentes e relação positiva entre nível do esforço do trabalho e salários reais. Além disso, o modelo tenta apresentar, também, como propriedade macroeconômica emergente a persistência de heterogeneidade de salários verificada na literatura empírica e debatida na subseção 2.1.1.

2.3 Diferenciais de salários e esforço endógeno em um ambiente macrodinâmico clássico: um estudo sob a perspectiva da complexidade

O modelo proposto neste trabalho toma como referência o trabalho de Silveira (2012). No entanto, a desconsideração de que a presença persistente de heterogeneidade salarial deveria levar a heterogeneidade da produtividade do trabalho verificada no citado trabalho de que na presença de diferenciais de salários a produtividade do trabalho permanece homogênea para todos os trabalhadores em todos os períodos da simulação é corrigida tornando endógeno o nível de esforço dispendido pelos trabalhadores. Como observado em Romer (2012), o nível de esforço é função não apenas do salário real do sistema econômico mas, também, da taxa de desemprego

e dos salários pagos pelas outras firmas integrantes desta economia. O objetivo nesta seção é, portanto, formular um modelo computacional baseado em agentes, sob a perspectiva da complexidade, que apresente como propriedades emergentes diferenciais de salários e endogeneidade da extração do nível de esforço do trabalho num ambiente macrodinâmico clássico do tipo [Goodwin \(1967\)](#).

A estrutura formal do modelo proposto é similar à de [Silveira \(2012\)](#) exposta na Seção 1.2.1. No entanto, algumas alterações são necessárias. A função de produção será dada por:

$$Y_j(t) = \min \left\{ \frac{K_j(t)}{\sigma}, a(t)(1 + \varepsilon_j(t))L_j(t) \right\}, \quad i \in \{1, 2, \dots, F\}, \quad (2.12)$$

onde $\varepsilon_j(t)$ é o nível de esforço de trabalho associado à firma j no período t .

A forma funcional para a função de extração do nível de esforço de trabalho é baseada na proposta por [Summers \(1988\)](#). Cabe ressaltar que esta forma funcional respeita todas as propriedades descritas em (2.3):

$$\varepsilon_j(t) = \begin{cases} \left[\frac{w_j(t) - \chi}{\chi} \right]^\eta, & \text{se } w_j(t) > \chi, \\ 0, & \text{se } w_j(t) \leq \chi, \end{cases} \quad (2.13)$$

sendo $\chi = [1 - b(1 - v(t))]\bar{w}$, $b > 0$ e $0 < \eta < 1$. Como observado em [Romer \(2012\)](#), χ é uma medida das condições do mercado de trabalho de todo o sistema econômico. $w_j(t)$ é o nível de salário praticado pela firma j , $v(t)$ é a taxa de emprego da economia, \bar{w} é a média salarial e, por fim, η é a elasticidade do esforço com relação ao prêmio pago pelas firmas sobre o índice das condições do mercado de trabalho. Quando $b = 1$, χ é a média salarial da economia multiplicada pela fração de trabalhadores empregados. Quando b supera a unidade, os trabalhadores dão maior peso no desemprego, se $b < 1$ o peso dado ao desemprego é menor. Portanto, a equação (2.13) implica que quando $w_j(t)$ supera χ , o esforço cresce menos que proporcionalmente com $w_j(t) - \chi$. Além disso, considerando (2.13), na presença de homogeneidade de salários, os esforços dos trabalhadores caem a um nível mínimo e, conseqüentemente, as produtividades dos trabalhadores também se homogenizam.

As equações (2.12) e (2.13) tornam evidente que a produtividade do trabalho pode ser decomposta em um componente de tendência, o crescimento da produtividade média do trabalho a uma taxa constante e exogenamente determinada, e um componente cíclico, determinado pelo nível de esforço despendido pelo trabalhador.

A adoção da hipótese clássica no que diz respeito à poupança implica que a taxa de lucro é dada por:

$$\rho_j(t-1) \equiv \frac{Y_j(t-1) - w_j(t-1)L_j(t-1)}{K_j(t-1)} = \frac{1}{\sigma} \left[1 - \frac{w_j(t-1)}{[1 + \varepsilon_j(t-1)]a(t-1)} \right]. \quad (2.14)$$

A quantidade de trabalho empregada também difere da de [Silveira \(2012\)](#), podendo depender do nível de esforço:

$$L_j(t) = \begin{cases} \frac{K_j(t)}{a(t)(1 + \varepsilon_j(t))\sigma}, & \text{se } K_j(t) < a(t)(1 + \varepsilon_j(t))\sigma N_j(t), \\ N_j(t), & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (2.15)$$

As outras equações que fecham a estrutura formal do modelo são idênticas às de [Silveira \(2012\)](#) descritas na Seção 1.2.1. Cabe ainda ressaltar que a recompensa da firma j será, neste modelo, dada por:

$$R_{j,m''}^f(t) = \frac{1}{\sigma} \left[1 - \frac{w_j(t)}{a(t)(1 + \varepsilon_j(t))} \right], \quad (2.16)$$

enquanto a recompensa dos sindicatos permanece inalterada.

Observa-se, então, que a endogeneidade do esforço de trabalho neste modelo faz com que o nível de produção, a taxa de lucro e a quantidade de trabalho empregada possam ser diferentes das observadas no modelo de [Silveira \(2012\)](#) em que a produtividade média do trabalho é homogênea e exogenamente determinada.

Capítulo 3

Propriedades macroeconômicas emergentes e teste empírico da teoria

3.1 Propriedades macroeconômicas emergentes

O objetivo desta seção é apresentar as propriedades macroeconômicas emergentes obtidas da simulação computacional do modelo exposto na seção 2.3 deste trabalho. As simulações realizadas tiveram um número de períodos fixado em 6000 iterações. Estabeleceu-se um número de $F = 500$ firmas e o mesmo para o número de sindicatos. Firmas e sindicatos são emparelhados aleatoriamente no início da simulação. A produtividade média do trabalho do período inicial é normalizada em 1, $a(1) = 1$. Quanto à parametrização do modelo, os valores numéricos utilizados são resumidos na Tabela 3.1 e o critério de escolha de tais valores será assunto de discussão de seção posterior.

As duas variáveis que sintetizam as condições macroeconômicas no modelo de Goodwin (1967) são a taxa de emprego e a participação do salário na renda, definidas da seguinte forma:

$$v(t) = \frac{\sum_{j=1}^F L_j(t)}{\sum_{j=1}^F N_j(t)}, \quad (3.1)$$

$$u(t) = \frac{\sum_{j=1}^F w_j(t)L_j(t)}{\sum_{j=1}^F Y_j(t)}. \quad (3.2)$$

Parâmetro	Valor
α	0.021768014948436
β	0.018425783396583
σ	2.1
λ	2.944700592968371
μ	0.228510867439965
ψ	0.226659649135965
ϕ	0.009488520398337
$v(0)$	0.099718805791522
η	0.968322929578374
b	0.604528573144818

Tabela 3.1: Parametrização do modelo.

As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam os resultados das séries macroeconômicas relevantes dos últimos 1000 períodos para a parametrização previamente estabelecida. Como esperado pelo modelo de [Goodwin \(1967\)](#), as séries apresentam flutuações recorrentes em torno de uma média de longo prazo estacionária.

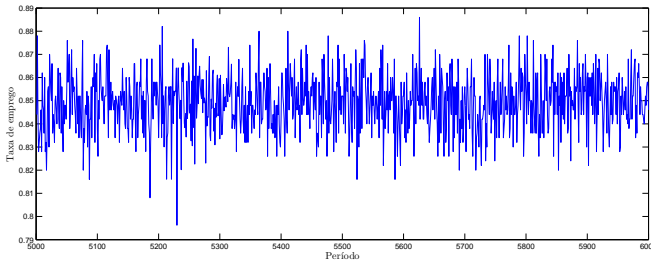


Figura 3.1: Trajetória da taxa de emprego em função dos períodos de simulação.

Como mencionado anteriormente, o modelo de [Goodwin \(1967\)](#) permite a existência de valores destas séries que superem a unidade. No entanto, nas simulações realizadas, tanto a taxa de emprego quanto a participação do salário na renda são limitados em intervalos economicamente significativos. Como observa [Silveira \(2012\)](#)

embora o conjunto de propostas possíveis incluía as possibilidades dos agentes proporem um salário nulo (todo o produto para a firma) ou igual

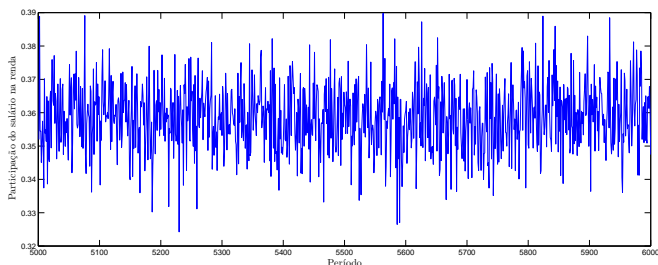


Figura 3.2: Trajetória da participação dos salários na renda em função dos períodos de simulação.

à produtividade média do trabalho (todo o produto para o sindicato), elas não se tornam predominantes em qualquer uma das populações de agentes. Disto, pode-se inferir que a função sigmóide capta melhor, comparado à função barganha de Goodwin, o papel do exército industrial de reserva como mecanismo homeostático, que evita que o sistema econômico atinja valores extremos da taxa de emprego e da participação do salário na renda (Silveira 2012, p. 689).

É possível ainda observar que a heterogeneidade salarial é uma característica existente e persistente ao longo das simulações. Para capturar a heterogeneidade de salários praticados no sistema econômico, o coeficiente de variação de Pearson foi calculado em cada período da simulação. Este coeficiente é obtido pela razão entre o desvio-padrão dos salários em um dado período e a média salarial. A Figura 3.3 evidencia que o grau de heterogeneidade de salários ao longo da simulação é mantido constante.

Em suma, o modelo proposto computacional baseado em agentes de uma macrodinâmica clássica com heterogeneidade de salários e endogeneidade do nível de esforço com relação ao diferencial de salários proposto neste trabalho é capaz de gerar flutuações endógenas recorrentes das duas variáveis de estado do modelo para valores economicamente significativos do parâmetro η , que representa a elasticidade do nível do esforço do trabalho com relação ao diferencial de salários.

3.1.1 Estática comparativa: sensibilidade das médias de longo prazo das variáveis econômicas relevantes aos parâmetros do modelo

O modelo original de Goodwin (1967) gera alguns resultados que dizem respeito ao comportamento das médias de longo prazo das variáveis taxa

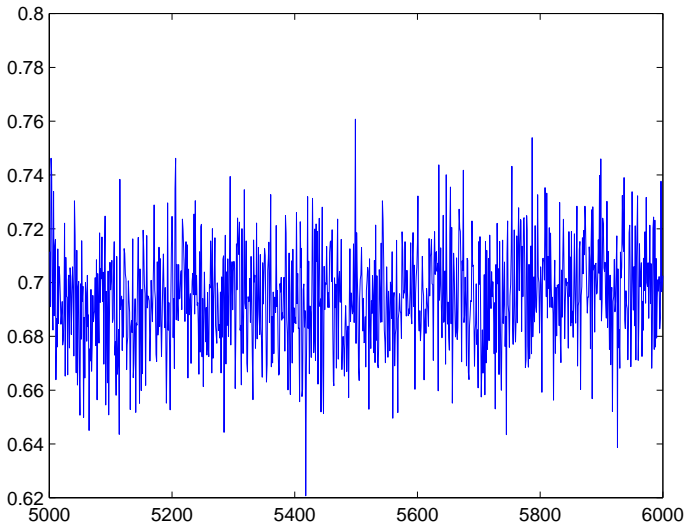


Figura 3.3: Trajetória do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função dos períodos de simulação.

de emprego e participação do salário na renda quando há variações nos parâmetros estruturais do sistema econômico. As equações (1.10) e (1.11) sintetizam quais parâmetros impactam, e em que sentido impactam, as variáveis centrais do modelo. O objetivo dessa seção é, portanto, verificar se o modelo aqui proposto é capaz de gerar propriedades macroeconômicas emergentes que sejam compatíveis com as obtidas por Goodwin. No entanto, ao tornar endógeno o nível de esforço do trabalho com relação ao diferencial de salários, efeitos adicionais podem operar sobre as médias de longo prazo das variáveis de estado do modelo.

O procedimento para verificar a sensibilidade das médias de longo prazo das variáveis que sintetizam as condições macroeconômicas a variações em cada parâmetro pode ser assim sintetizado: cada parâmetro é limitado tanto inferior quanto superiormente, a seguir é gerado um intervalo de 100 elementos linearmente espaçado entre o limite inferior e o limite superior. O modelo é simulado, então, repetidas vezes variando-se o parâmetro em questão no intervalo previamente criado (os outros parâmetros são mantidos constantes). Para cada simulação realizada, o número de iterações do modelo é fixado em 6000, após findada a simulação são calculadas as médias dos últimos 1000 períodos para a taxa de emprego, participação do salário na renda, coeficiente de variação de Pearson dos

salários e nível médio de esforço.

O primeiro exercício de estática comparativa realizado é com o parâmetro taxa de emprego inicial do sistema econômico, parâmetro este que determina completamente o estado inicial do modelo. Fica evidente pelas equações (1.10) e (1.11) que as médias de longo prazo das variáveis de estado do modelo independem deste parâmetro. Ademais, não parece haver razões para que ao tornar-se o nível de esforço endógeno neste modelo, a taxa de emprego inicial venha a exercer alguma influência, dado que esta não possui efeito algum sobre a taxa de crescimento do nível de esforço.

De fato, os resultados obtidos são compatíveis com os esperados. As Figuras 3.4 e 3.5 evidenciam que tanto a média de longo prazo da taxa de emprego quanto a da participação do salário na renda independem das variações na taxa inicial de emprego (os coeficientes angulares das equações estimadas são estatisticamente iguais a zero). Nestas figuras, assim como em todas as outras figuras dos exercícios de estática comparativa, a linha azul representa a trajetória das médias das variáveis para cada valor do parâmetro, as linhas tracejadas vermelhas representam o desvio padrão em torno de cada média, a linha preta é a representação geométrica da equação linear obtida via regressão linear da variável em questão no parâmetro estudado (a equação estimada é também exposta nas figuras). Percebe-se, então, ainda nestas figuras, que as flutuações em torno da média de longo prazo das duas séries não dependem de maneira significativa da condição inicial da taxa de emprego. Em suma, o comportamento esperado por [Goodwin \(1967\)](#) para as médias de longo prazo das variáveis de estado do modelo quanto a variações na taxa de emprego inicial é observado, também, mesmo sob a hipótese de endogeneidade do nível de esforço do trabalho.

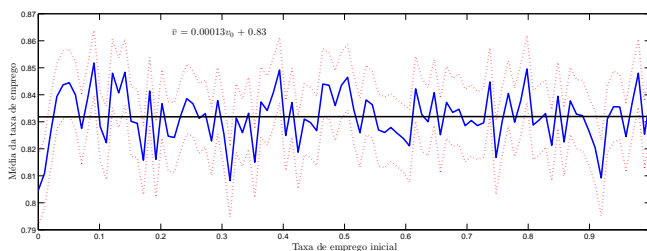


Figura 3.4: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função da taxa de emprego inicial.

Como evidenciado nas equações (1.10) e (1.11), o modelo original de [Goodwin \(1967\)](#) prediz que a média da taxa de emprego é relacionada negativamente com a sensibilidade do salário real na vizinhança do pleno emprego, enquanto a média da participação do salário na renda não varia

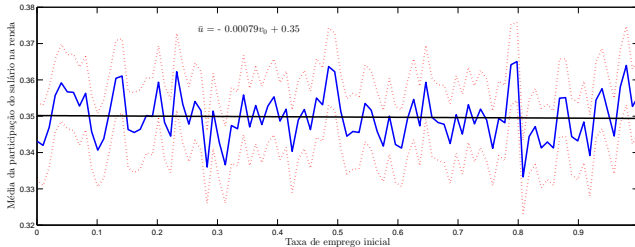


Figura 3.5: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função da taxa de emprego inicial.

com mudanças nos parâmetros de barganha. Como observa [Silveira \(2012\)](#), tanto no modelo computacional baseado em agentes por ele proposto, como no modelo aqui descrito, uma maneira de avaliar a resposta das médias das variáveis macroeconômicas relevantes à variações do salário real é mapear seus comportamentos quando os parâmetros da função sigmóide (1.19) são alterados.

O primeiro exercício de estática comparativa para os parâmetros da barganha salarial da função sigmóide é feito com o parâmetro λ . Variações positivas neste parâmetro implicam em maior curvatura da função sigmóide, o que significa, segundo [Silveira \(2012\)](#), uma maior probabilidade de resultados de barganha favoráveis aos sindicatos para cada taxa de emprego maior que o valor do parâmetro μ (ponto de inflexão da função sigmóide). As Figuras 3.6 e 3.7 mostram os resultados do exercício de estática comparativa. Os resultados obtidos para a média da taxa de emprego, como pode-se observar, são diferentes dos previstos originalmente por [Goodwin \(1967\)](#). Ao invés de uma trajetória descendente para a média da taxa de emprego, observa-se que esta variável responde de maneira levemente positiva a variações do parâmetro λ quando λ é pequeno, para valores de λ maiores que 10 a média da taxa de emprego mantém uma trajetória estacionária.

Quanto à média da participação dos salários na renda, o resultado obtido também difere levemente do resultado previsto originalmente. O resultado aqui obtido foi similar ao observado em [Silveira \(2012\)](#), para baixos valores de λ esta variável responde positivamente a variações do parâmetro em questão, ao invés de não ser impactada por ele. No entanto, para valores de λ maiores que 10, o comportamento da média da participação do salário na renda é o esperado pelo modelo de [Goodwin \(1967\)](#), ou seja, não há impactos com viés do parâmetro λ sobre a média da participação do salário na renda.

A diferença entre resultados esperados e obtidos pode ser melhor entendido através da Figura 3.8. Esta figura evidencia as trajetórias tanto

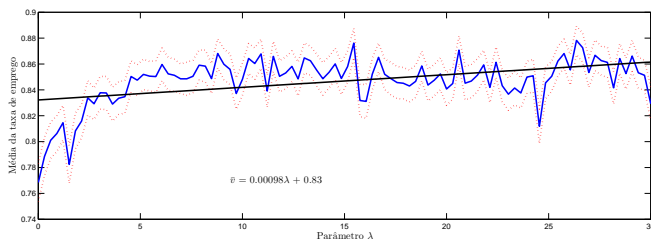


Figura 3.6: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de λ .

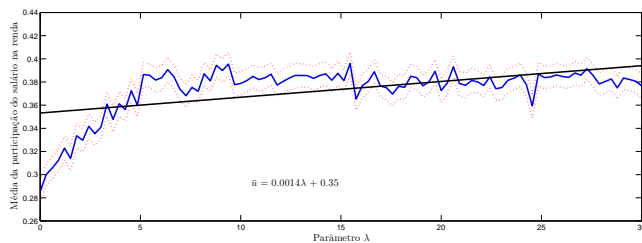


Figura 3.7: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de λ .

do nível médio de esforço quanto do coeficiente médio de variação de Pearson dos salários em função do parâmetro λ . Observou-se nas simulações que o salário real apresenta trajetória crescente apenas para valores de λ inferiores a 10, após esse valor, a curva de salário real torna-se estacionária. Esse crescimento positivo de salários para baixos valores de λ implicou em uma queda no grau de heterogeneidade de salários esta queda, por sua vez, reduziu os níveis de esforço médio no intervalo aqui analisado. Quedas nos níveis de esforço significam uma menor extração de trabalho por parte das firmas e, por consequência, essa trajetória negativa terá efeitos distributivos favoráveis aos trabalhadores (como foi observado na Figura 3.7). Quando à média da taxa de emprego, esperava-se que o maior crescimento do salário médio para valores baixos de λ combinado com o decréscimo do nível médio de esforço implicasse em uma redução da média da taxa de emprego, ao invés da elevação observada.

O segundo parâmetro da função de barganha salarial sigmóide (1.19) é o parâmetro μ , que é o ponto de inflexão desta função. Aumentos nesse parâmetro diminuem o intervalo dos valores da taxa de emprego próximos ao pleno emprego, sendo que este intervalo favorece os sindicatos no pro-

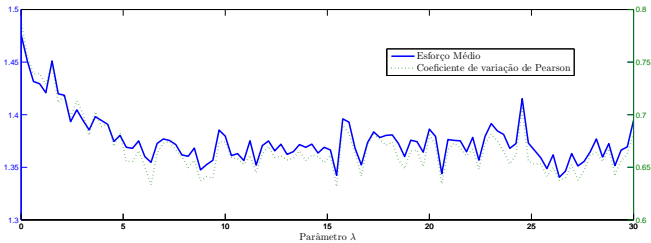


Figura 3.8: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de λ .

cesso de barganha salarial em detrimento das firmas. As Figuras 3.9 e 3.10 apresentam as trajetórias das médias da taxa de emprego e da participação dos salários na renda, respectivamente, em função de μ . Aumentos no parâmetro μ implicam em situações desfavoráveis aos sindicatos, espera-se, portanto, que nesse cenário exista um efeito distributivo favorável às firmas quanto maior for o valor de μ . A Figura 3.10 evidencia que é exatamente esse o caso, com um declínio da média de longo prazo da participação do salário na renda.

Além disso, como aumentos de μ provocam elevações no nível médio de esforço da economia (Figura 3.11), a necessidade de contratações de um maior número de trabalhadores por parte das firmas será menor e, portanto, a média de longo prazo da taxa de emprego da economia diminuirá quando este parâmetro for maior.

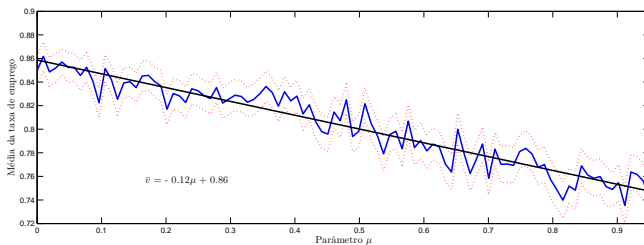


Figura 3.9: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de μ .

Quanto à robustez das propriedades emergentes do modelo computacional quanto aos parâmetros do algoritmo de aprendizagem por reforço, as Figuras 3.12 e 3.13 mostram as trajetórias das médias das duas variáveis macroeconômicas relevantes com relação ao parâmetro de experimentação

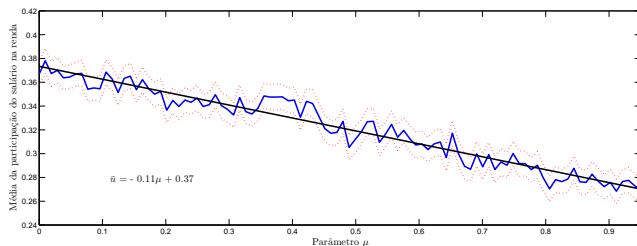


Figura 3.10: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de μ .

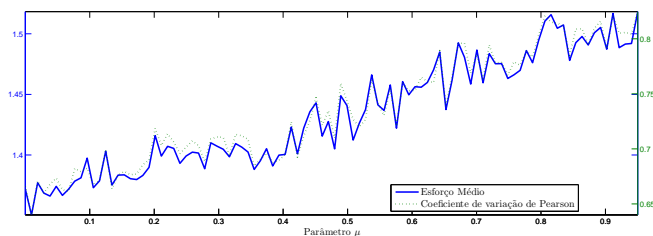


Figura 3.11: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de μ .

ψ . Quando o parâmetro de experimentação aumenta, mantendo-se fixo o parâmetro de recenticidade, espera-se que possa acontecer de a média salarial manter-se fixa ou até ser reduzida (dado que o acaso na seleção de estratégias aumenta em importância) e que o grau de heterogeneidade de salários também aumente. A Figura 3.14 evidencia que o grau de heterogeneidade dos salários, medido pelo coeficiente de variação de Pearson médio, de fato aumenta implicando, assim, em elevações no nível de esforço médio. O aumento do nível médio de esforço para valores mais elevados de ψ fazem com que a extração de trabalho pelas firmas seja maior, reduzindo a necessidade de contratações e, por consequência, a média de longo prazo da taxa de emprego. Esse mesmo mecanismo de aumentos em ψ , nível de esforço médio e grau de heterogeneidade, combinados com estacionariedade ou reduções na média salarial para os valores de ψ implicam, portanto, em um efeito distributivo mais desfavorável aos trabalhadores ao reduzir a média de longo prazo da participação dos salários na renda. Todos estes efeitos descritos anteriormente justificam, portanto, as trajetórias evidenciadas nas Figuras 3.12 e 3.13.

No entanto, quando é a importância do desempenho do histórico re-

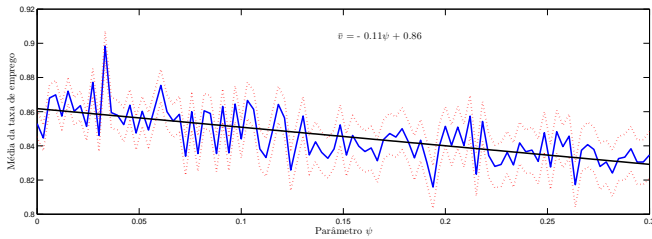


Figura 3.12: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de ψ .

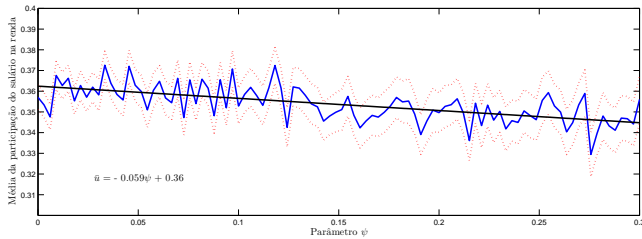


Figura 3.13: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de ψ .

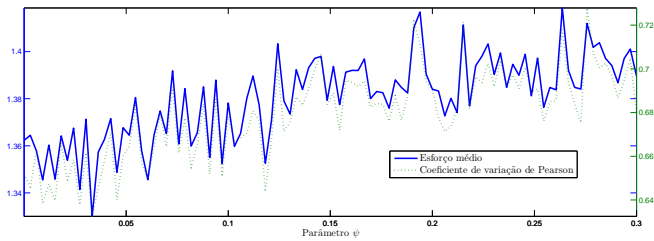


Figura 3.14: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de ψ .

cente de seleção de estratégias que aumenta, ou seja, o parâmetro de recen-
ticidade ϕ se eleva, espera-se que a probabilidade de escolha das estraté-
gias mais bem sucedidas aumente e, portanto, a média salarial do sistema
econômico eleve-se. Esta elevação da média salarial reduz o nível médio
de esforço, já que diminui o diferencial de salários, esta redução é evidente

na Figura 3.17. Uma redução do nível de esforço maior que o aumento da média salarial (os coeficientes estimados foram, respectivamente, $-0,74$ e $0,59$) implica em maior demanda por mão-de-obra por parte das firmas e, portanto, elevações na média de longo prazo da taxa de emprego, como mostra a Figura 3.15. Além disso, o aumento da média salarial combinado com o aumento na demanda por mão-de-obra configuram um cenário distributivo favorável aos trabalhadores, elevando a média de longo prazo da participação do salário na renda, como fica evidente na Figura 3.16.

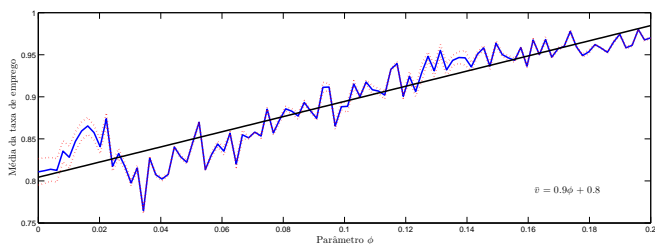


Figura 3.15: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de ϕ .

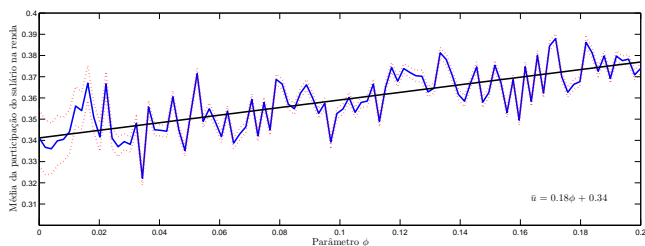


Figura 3.16: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de ϕ .

Os parâmetros estruturais do modelo de [Goodwin \(1967\)](#) utilizados também no modelo proposto neste trabalho são: taxa de progresso técnico, taxa de crescimento da força de trabalho e razão capital-produto. Os próximos exercícios de estática comparativa são realizados com estes três parâmetros.

O modelo de [Goodwin \(1967\)](#) prediz, originalmente, que aumentos da taxa de progresso técnico impactam positivamente a média de longo prazo da taxa de emprego e negativamente a média de longo prazo da participação do salário na renda. A Figura 3.19 torna evidente que o

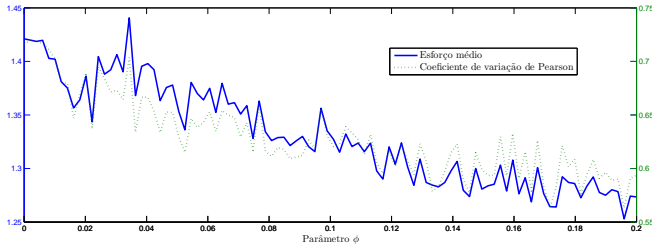


Figura 3.17: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de ϕ .

resultado obtido pelo modelo proposto é compatível com o esperado por Goodwin, ou seja, quanto maior a taxa de progresso técnico, menor a média de longo prazo da participação do salário na renda.

No entanto, a Figura 3.18 mostra que a trajetória da média da taxa de emprego é inversa à prevista originalmente por Goodwin (1967). A trajetória descendente da média de longo prazo para a taxa de emprego com relação a aumentos nos valores de α pode ser explicada pelo aumento do nível médio de esforço observada na Figura 3.20. Como a quantidade de trabalho extraída por parte das firmas aumenta com valores mais altos da taxa de progresso técnico, a demanda por mão-de-obra por parte das firmas pode diminuir, reduzindo, assim, a média de longo prazo da taxa de emprego.

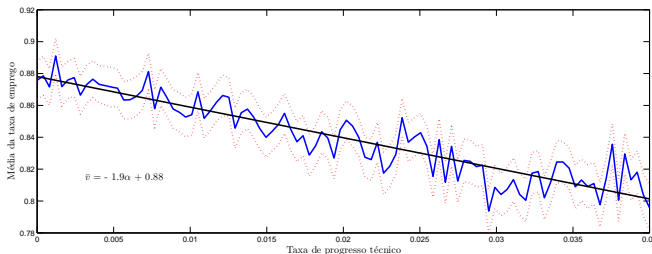


Figura 3.18: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de α .

Cabe ressaltar ainda, como observa Blatt (1983), que a relação positiva entre a taxa de progresso técnico e a média de longo prazo da taxa de emprego inferida originalmente por Goodwin (1967) é consequência direta da pressuposição de uma função barganha linear.

O modelo de Goodwin (1967) prediz, também, que há uma tendência

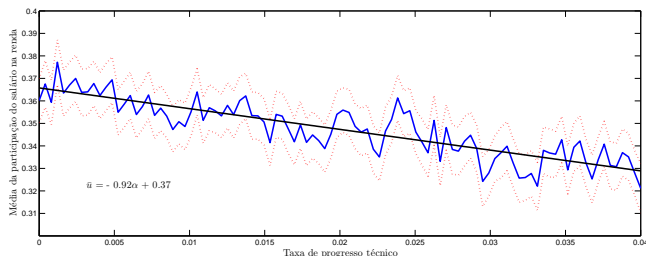


Figura 3.19: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de α .

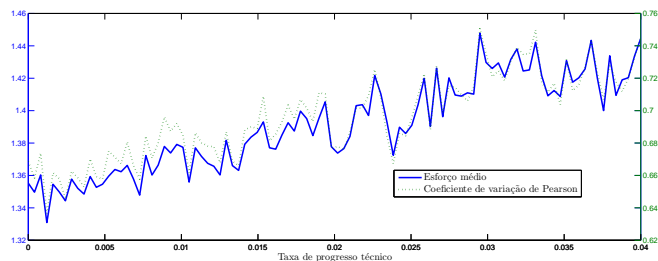


Figura 3.20: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de α .

de redução da média de longo prazo da participação do salário na renda quando há aumentos na taxa de crescimento da força de trabalho, enquanto o efeito sobre a média da taxa de emprego é nulo. Os resultados obtidos com o modelo proposto neste trabalho são similares aos obtidos por [Silveira \(2012\)](#), a saber, a média de longo prazo da taxa de emprego não é invariante a mudanças no parâmetro β , ao invés disso, a [Figura 3.21](#) torna evidente uma trajetória com tendência negativa. Como observado anteriormente, essa também é uma propriedade do modelo de Goodwin que está diretamente ligada à pressuposição de linearidade da função barganha, [Blatt \(1983, p. 215\)](#).

Quanto à média de longo prazo da participação do salário na renda, a [Figura 3.22](#) mostra uma leve tendência negativa dessa variável quando há aumentos no parâmetro β , como prediz originalmente o modelo de Goodwin.

Além da justificativa da hipótese original de linearidade da função barganha, um outro fator parece importar para explicar a tendência negativa da média da taxa de emprego de longo prazo. Com a hipótese de endo-

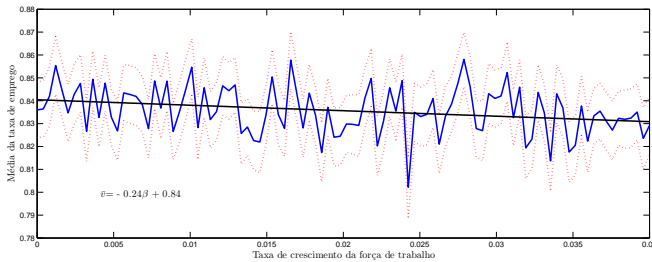


Figura 3.21: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de β .

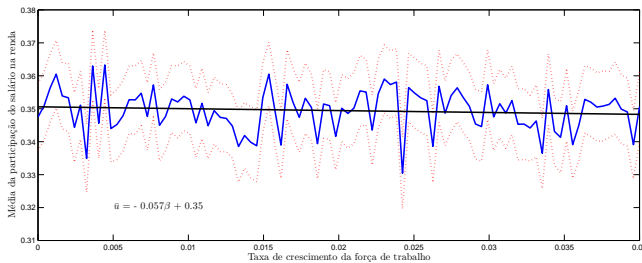


Figura 3.22: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de β .

geneidade do esforço do trabalho, o modelo apresenta uma leve relação positiva entre o parâmetro β e o nível médio de esforço, essa relação pode implicar na redução da média de longo prazo da taxa de emprego.

De acordo com o modelo de Goodwin, a média da participação do salário na renda deve cair quando há aumentos na razão capital-produto, enquanto a média da taxa de emprego não é impactada. No entanto, os resultados obtidos pelas simulações computacionais neste trabalho são similares aos obtidos em [Silveira \(2012\)](#). A média de longo prazo da participação do salário na renda independe de variações em σ (o coeficiente da equação linear estimada é estatisticamente igual a zero), resultado este que contradiz o esperado pelo modelo de [Goodwin \(1967\)](#). E há uma leve tendência negativa para a média de longo prazo da taxa de emprego (apesar de o valor do coeficiente angular ser baixo, é estatisticamente significativo), outro resultado não compatível com o modelo de Goodwin. No entanto, a [Figura 3.26](#) apresenta uma leve relação positiva entre nível médio de esforço e razão capital-produto, relação essa que pode explicar a trajetória

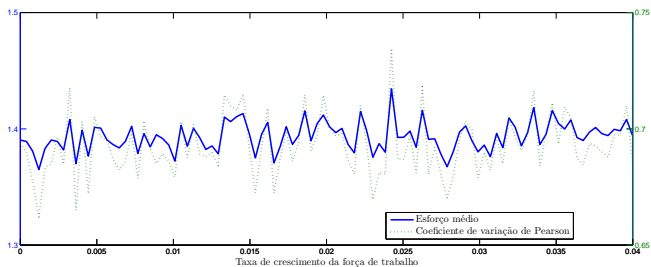


Figura 3.23: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de β .

levemente decrescente da média de longo prazo da taxa de emprego.

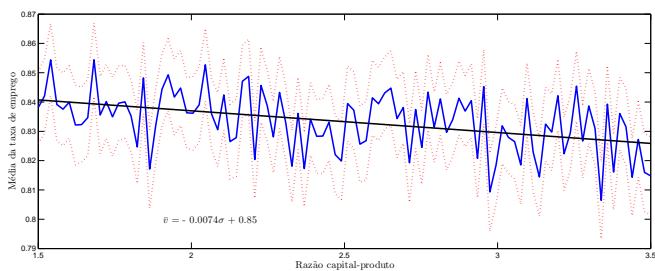


Figura 3.24: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de σ .

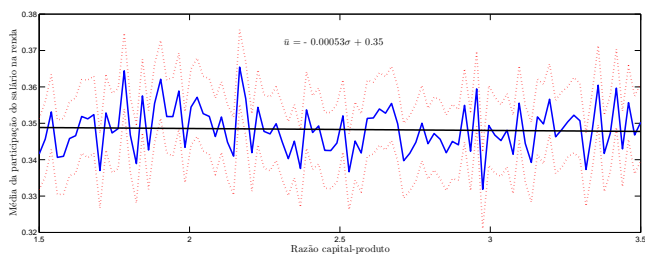


Figura 3.25: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de σ .

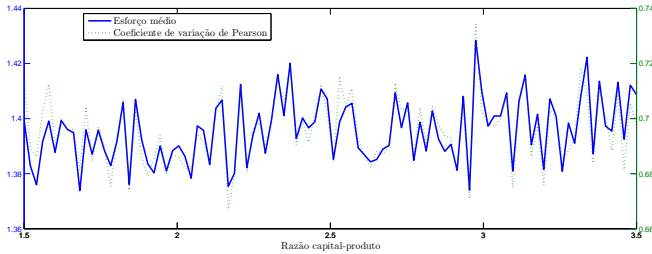


Figura 3.26: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de σ .

Por fim, os últimos testes de estática comparativa realizados são referentes aos parâmetros da função esforço (2.13) proposta. As Figuras 3.27 e 3.28 mostram as trajetórias das médias de longo prazo da taxa de emprego e participação do salário na renda, respectivamente, em função de variações no parâmetro b . Valores mais altos de b indicam que os trabalhadores dão peso maior ao desemprego na hora de decidirem qual será o nível de esforço dispendido na realização de suas tarefas. Como evidenciado na Figura 3.29, o coeficiente de variação de Pearson para os salários independe dos valores de b , portanto, o grau de heterogeneidade dos salários é mantido constante. Com um grau de heterogeneidade constante e valores maiores de b espera-se que o nível médio de esforço aumente, relação observada na Figura 3.29. O aumento do nível de esforço combinado com a estacionariedade do salário médio implicou, no modelo proposto, apenas em efeitos distributivos para o sistema econômico. O aumento da extração de esforço dos trabalhadores por parte das firmas acarretou em um aumento da participação dos lucros na renda, dado que os salários mantiveram-se constantes, e, portanto, redução da média de longo prazo da participação dos salários na renda.

Quanto à elasticidade do esforço do trabalho com relação ao diferencial de salários, as Figuras 3.30 e 3.31 indicam que, novamente, o efeito é apenas distribucional. Variações positivas no parâmetro η não impactam a média de longo prazo da taxa de emprego e impactam positivamente a média de longo prazo da participação dos salários na renda.

Essa relação positiva entre a média da participação do salário na renda e a elasticidade do esforço com relação aos salários pode ser explicada pela queda no nível médio de esforço quando o parâmetro η aumenta. No entanto, as causas para a queda no nível médio de esforço não estão tão evidentes, esperava-se que com o aumento do valor da elasticidade do esforço com relação ao diferencial de salários, seria mais atrativo para as firmas optarem pela estratégia de pagar salários mais altos. Com um número maior de firmas migrando para a estratégia de salários altos, esperava-se uma

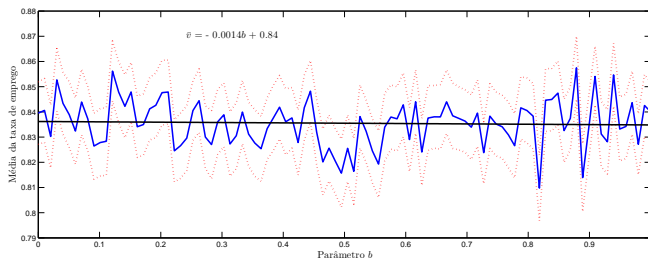


Figura 3.27: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de b .

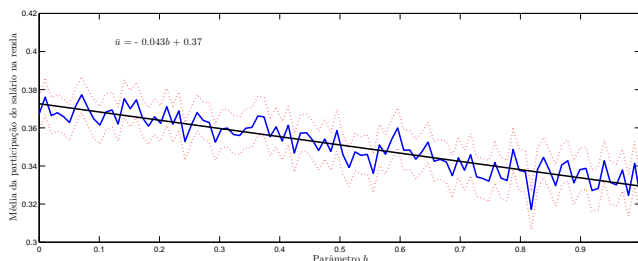


Figura 3.28: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de b .

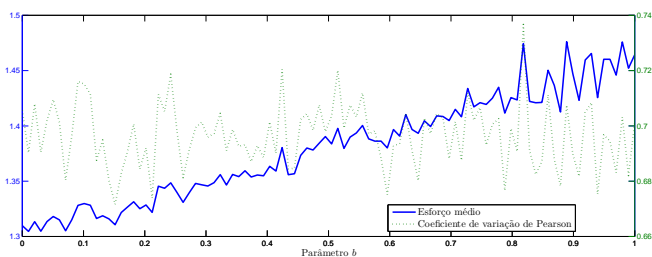


Figura 3.29: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de b .

redução no grau de heterogeneidade dos salários. Esse aumento do grau de heterogeneidade de salários faria com que o esforço extraído por uma firma de salário alto fosse máximo, no entanto, reduziria o nível médio de

esforço. Entretanto, o coeficiente médio de variação de Pearson independe de variações no parâmetro η . Com a estacionariedade de salário médio e do grau de heterogeneidade de salários esperava-se que o nível médio de esforço fosse, também, mantido invariante, no entanto, a Figura 3.32 indica que o nível médio de esforço possui uma clara tendência decrescente.

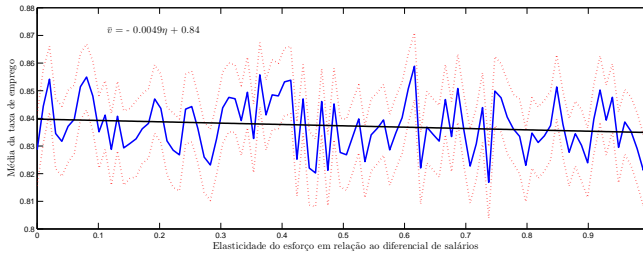


Figura 3.30: Média e desvio padrão da taxa de emprego em função de η .

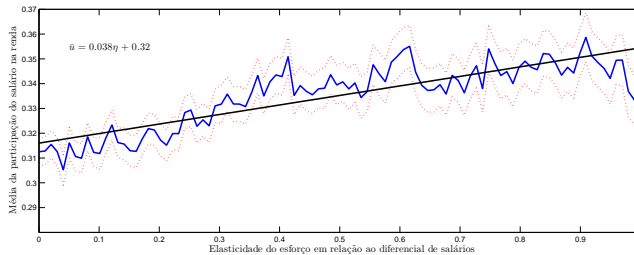


Figura 3.31: Média e desvio padrão da participação do salário na renda em função de η .

Em suma, a tendência decrescente do nível de esforço combinado com a estacionariedade verificada para a média de longo prazo da taxa de emprego é compatível com os aumentos na média de longo prazo da participação do salário na renda. Estes resultados indicam que aumentos no parâmetro η têm efeitos apenas distributivos. No entanto, as causas da queda no nível médio de esforço quando aumenta a elasticidade do esforço com relação ao diferencial de salários não está, ainda, bem explicada.

Em resumo, o modelo computacional proposto neste trabalho com endogeneidade do nível de esforço do trabalho gerou propriedades macroeconômicas emergentes em termos das médias de longo prazo das variáveis de estado do modelo de [Goodwin \(1967\)](#), a saber, taxa de emprego e par-

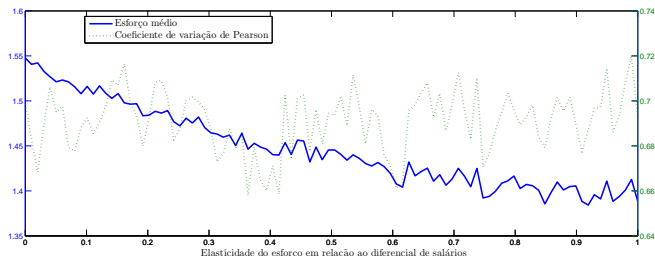


Figura 3.32: Nível médio de esforço e média do coeficiente de variação de Pearson dos salários em função de η .

ticipação do salário na renda. Variações nos parâmetros relacionados à função esforço 2.13 parecem ter efeitos apenas distributivos no sistema econômico. Sendo que quanto maior a elasticidade do esforço com relação ao diferencial de salários, mais favorável para os trabalhadores é o panorama da economia. Quanto ao peso da taxa de desemprego na decisão de esforço dispendido pelos trabalhadores, quanto maior esse peso, mais favorável às firmas configura-se o cenário econômico. Os testes relacionados aos parâmetros estruturais do modelo de Goodwin (1967) apresentaram alguns resultados não compatíveis com os resultados esperados originalmente, principalmente para a média de longo prazo da taxa de emprego. No entanto, como observado por Blatt (1983), o pressuposto de linearidade da função barganha adotado por Goodwin impacta diretamente as relações das médias de longo prazo das variáveis de estado com os parâmetros estruturais. Ademais, o modelo proposto parece ser sensível a variações nos parâmetros relacionados ao algoritmo de aprendizagem utilizado. As médias de longo prazo das variáveis macroeconômicas relevantes respondem positivamente a variações no parâmetro de reenticidade, enquanto, a relação com o parâmetro de experimentação é negativa. Por fim, a adoção da hipótese de endogeneidade do nível de esforço com relação ao diferencial de salários tem efeitos, também, sobre as médias de longo prazo das variáveis quando há variações nos parâmetros da função sigmóide adotada. Com relação ao parâmetro μ , os resultados da média da taxa de emprego diferem das obtidas em Silveira (2012), mesmo caso observado quando é o parâmetro λ que varia.

Estatísticas Descritivas, usando as observações 1948–2002 para a variável participação do salário na renda (55 observações válidas)

Média	Mediana	Mínimo	Máximo
0,448375	0,459921	0,363673	0,533298
Desvio Padrão	C.V.	Enviesamento	Ex. kurtosis
0,0551081	0,122906	−0,155792	−1,33409

Tabela 3.2: Estatísticas descritivas da série participação do salário na renda.

3.2 Teste empírico do modelo para a economia norte-americana no período 1948–2002

3.2.1 Conjunto de dados utilizados

Para verificar o suporte empírico do modelo proposto neste trabalho foram construídas séries de dados anuais para a economia norte-americana do período 1948–2002 que sejam medidas apropriadas para as duas variáveis macroeconômicas chaves do modelo original de [Goodwin \(1967\)](#), a taxa de emprego e a participação do salário na renda.

A construção destas séries de dados é idêntica à proposta por [Mohun & Veneziani \(2006\)](#) no seu segundo conjunto de dados. A taxa de emprego é restrita, apenas, a empregados adultos da indústria privada não-agrícola norte-americana e, portanto, exclui tanto trabalhadores autônomos quanto empregados do setor público e famílias privadas. Quanto à participação dos salários na renda, [Mohun & Veneziani \(2006\)](#) observam que a metodologia por eles aplicada leva em conta que o modelo de Goodwin é um modelo de conflito de classes sobre participações na distribuição da renda e, portanto, os salários representam a renda do trabalho apenas da classe trabalhadora¹.

Nas Tabelas 3.2 e 3.3 encontram-se as estatísticas descritivas das duas variáveis macroeconômicas em questão.

¹Para detalhes da construção das séries de dados verificar o apêndice de [Mohun & Veneziani \(2006\)](#).

Estatísticas Descritivas, usando as observações 1948–2002 para a variável taxa de emprego (55 observações válidas)

Média	Mediana	Mínimo	Máximo
0,940525	0,942101	0,898769	0,965921
Desvio Padrão	C.V.	Enviesamento	Ex. kurtosis
0,0155011	0,0164813	−0,517895	0,122694

Tabela 3.3: Estatísticas descritivas da série taxa de emprego.

3.2.2 Parametrização do modelo

Para a determinação dos valores numéricos dos parâmetros do modelo baseado em agentes proposto foi utilizada uma combinação de métodos. Os parâmetros taxa de crescimento do progresso técnico (α) e taxa de crescimento da população (β) foram parâmetros estimados de acordo com os seguintes modelos especificados, respectivamente:

$$a(t) = (1 + \alpha)a(t - 1) + z(t), \quad (3.3)$$

$$N(t) = (1 + \beta)N(t - 1) + \epsilon(t). \quad (3.4)$$

Os resultados das estimativas são encontrados no Apêndice A deste trabalho. Quanto ao valor da razão capital-produto, este é retirado da literatura, extraído do trabalho de [Mohun & Veneziani \(2006, p. 7\)](#). Os valores dos citados parâmetros são apresentados na Tabela 3.4.

Parâmetro	Valor
α	0.021768014948436
β	0.018425783396583
σ	2.1

Tabela 3.4: Parâmetros estimados ou baseados na literatura.

Para os parâmetros restantes o método utilizado de determinação dos valores numéricos foi a calibração. A calibração, como observa [DeJong & Dave \(2011\)](#), consiste em escolher um conjunto de parâmetros que satisfaça à seguinte condição:

$$\Omega(\{X_t^M\}_{t=1}^T) = \Omega(\{X_t\}_{t=1}^T), \quad (3.5)$$

sendo X_t^M as séries simuladas pelo modelo, X_t as séries empíricas e Ω o critério utilizado para especificar os parâmetros do modelo.

Como este trabalho propõe um modelo de crescimento cíclico com endogeneidade do esforço do trabalho e heterogeneidade de salários, o objetivo desta seção é verificar se um modelo com tais características é capaz de reproduzir propriedades das séries empíricas das duas variáveis relevantes ao modelo de [Goodwin \(1967\)](#). A característica de ciclos de negócios do ambiente macroeconômico aqui utilizado sugere que leve-se em consideração para a calibração características dos componentes cíclicos das séries macroeconômicas. Além disso, o modelo de [Goodwin \(1967\)](#) também faz previsões sobre os valores das médias de longo prazo tanto da taxa de emprego quanto da participação dos salários na renda.

Portanto, neste trabalho, o critério utilizado para a especificação dos parâmetros a serem calibrados consistiu em minimizar a distância euclidiana entre as médias incondicionais das séries não-filtradas, os desvios padrão e autocorrelações de primeira a sexta ordem dos componentes cíclicos (dado o caráter cíclico do modelo econômico em questão) das séries macroeconômicas filtradas por um filtro [Hodrick & Prescott \(1997\)](#) (HP)². Formalmente, seja Γ um vetor-linha composto pelas diferenças entre os valores observados pelas simulações e os valores empíricos para cada critério utilizado, o objetivo é minimizar a distância d dada por $d^2 = \Gamma\Gamma^T$.

Dada a existência de inúmeros mínimos locais da função objetivo do problema de otimização para a calibração do modelo, um método de otimização global foi utilizado. Para resolver o problema de programação que determina o conjunto de parâmetros que aproxima os momentos das séries simuladas e empíricas aplicou-se o método de arrefecimento simulado (*simulated annealing method*). Segundo [Henderson et al. \(2003\)](#), o método de arrefecimento simulado é um algoritmo probabilístico, meta-heurístico, de busca local capaz de escapar de ótimos locais. [Press \(2007\)](#) observa que este método é uma

²Segundo [Hodrick & Prescott \(1997\)](#), o filtro Hodrick-Prescott (HP) decompõe uma série temporal em componentes de tendência e componentes cíclicos de maneira que a soma destes dois componentes restaurem a série original. A função objetivo do filtro é dada por $\sum_{t=1}^m C_t^2 + \lambda \sum_{t=2}^m -1((T_{t+1} - T_t)(T_t - T_{t-1}))^2$, sendo m o número de observações e λ um parâmetro de suavização. O problema de programação é minimizar a função objetivo em todos os T_1, \dots, T_m . O valor de λ foi fixado de acordo com a sugestão de [Ravn & Uhlig \(2002\)](#), segundo estes autores o valor apropriado para dados anuais é de $\lambda = 6,25$.

analogia com termodinâmica, especificamente com a maneira com que líquidos congelam e cristalizam ou metais esfriam e arrefecem. Segundo [Press \(2007\)](#)

the essence of the process is *slow* cooling, allowing ample time for the redistribution of the atoms as they lose mobility. This is the technical definition of *annealing*, and it is essential for ensuring that a low energy state will be achieved ([Press 2007](#), p. 550).

O resultado da calibração dos parâmetros é sumarizado na Tabela 3.5 a seguir:

Parâmetro	Valor
λ	2.944700592968371
μ	0.228510867439965
ψ	0.226659649135965
ϕ	0.009488520398337
$v(0)$	0.099718805791522
η	0.968322929578374
b	0.604528573144818

Tabela 3.5: Parâmetros calibrados.

3.2.3 Ajuste do modelo proposto à economia norte-americana no período 1948-2002

O propósito desta seção é examinar a qualidade do ajuste das séries simuladas pelo modelo baseado em agentes às séries empíricas para a economia norte-americana no período de 1948 a 2002. Para isso, foram feitas 1000 simulações, cada uma fixada em 6000 períodos, e foram extraídas as estatísticas relevantes das últimas 55 observações de cada série simulada. Todas as estatísticas reportadas das variâncias do conjunto das séries econômicas temporais se referem aos componentes cíclicos tanto do modelo quanto da economia norte-americana. As auto-correlações, médias das séries não-filtradas, desvios-padrão e correlação cruzada para a taxa de emprego

e participação do salário na renda obtidas pelas simulações do modelo e das séries empíricas são reportadas na Tabela 3.6.

	v	v*	u	u*
Médias	0,8334 (0,0117)	0,9405	0,3481 (0,0084)	0,4484
Desvio-padrão	0,0105 (0,0012)	0,0086	0,0086 (0,0009)	0,0042
γ_1	-0,3219 (0,1093)	0,0781	-0,3242 (0,1100)	0,1351
γ_2	-0,1743 (0,1471)	-0,4009	-0,1700 (0,1485)	-0,4122
γ_3	-0,0625 (0,1527)	-0,2921	-0,0651 (0,1480)	-0,3041
γ_4	-0,0035 (0,1461)	0,0162	0,0002 (0,1465)	0,0508
γ_5	0,0254 (0,1411)	0,1315	0,0260 (0,1430)	0,0219
γ_6	0,0288 (0,1437)	-0,0887	0,0199 (0,1399)	-0,1683

Nota: As séries acompanhadas por asteriscos representam os valores referentes às séries empíricas, enquanto as outras referem-se aos das séries simuladas.

Tabela 3.6: Estatísticas das séries empíricas e simuladas.

Na Tabela 3.6, as colunas das séries acompanhadas por asteriscos representam os valores referentes às séries empíricas, enquanto as outras referem-se aos das séries simuladas. Para as séries simuladas, os valores apresentados são as médias das médias de longo prazo das variáveis relevantes para as 1000 simulações realizadas, enquanto os valores entre parênteses representam o desvio-padrão. γ_n é a auto-correlação de ordem n das séries.

Quanto à correlação cruzada das séries taxa de emprego e participação dos salários na renda, a Tabela 3.7 apresenta seu valor para as séries empíricas e para as séries simuladas. Observa-se que para a calibração especificada para o modelo, as médias obtidas pelas simulações são inferiores às respectivas médias não-filtradas das séries observadas empiricamente. A média da taxa de emprego empírica supera em quase 10% a média da taxa de emprego simulada, quanto

	(\mathbf{u}, \mathbf{v})	$(\mathbf{u}, \mathbf{v})^*$
Correlação	0,7897 (0,0598)	0,3805

Tabela 3.7: Correlação cruzada das séries empíricas e simuladas.

à média da participação do salário na renda a diferença é entre os valores empíricos e simulados são aproximadamente os mesmos. Portanto, a tendência de longo prazo, em torno da qual há flutuações das séries macroeconômicas em questão, do modelo proposto não é suficientemente satisfatória quando comparada à das séries empíricas.

Quanto às características cíclicas de curto prazo, observa-se que para as autocorrelações de ordem maiores que 4, o modelo consegue aproximar os valores empíricos, mas com um elevado desvio-padrão. Para as auto-correlações de ordem menor, o ajuste já é consideravelmente mais fraco. Principalmente para a auto-correlação de primeira ordem, com inversão de sinal dos valores obtidos pelas simulações com relação aos valores empíricos.

As médias dos desvios-padrão das variáveis relevantes obtidas nas simulações computacionais são maiores que as observadas empiricamente. Essa superioridade de valores indica que a amplitude dos ciclos do modelo simulado é, em média, superior à amplitude verificada nas séries empíricas.

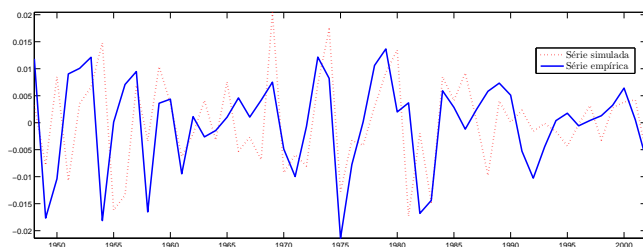


Figura 3.33: Trajetória do componente cíclico da taxa de emprego simulada e empírica.

As Figuras 3.33 e 3.34 apresentam as trajetórias dos componentes cíclicos extraídos pela filtragem HP das séries empíricas e simuladas. Para esta única realização do modelo simulado, verifica-se que as

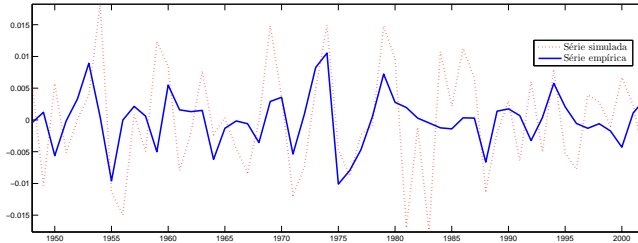


Figura 3.34: Trajetória do componente cíclico da participação do salário na renda simulada e empírica.

propriedades da trajetória da participação do salário na renda empírica são razoavelmente replicadas pela trajetória do modelo, apresentando um grau de correlação de 0,3529 entre as duas curvas. Para a trajetória da taxa de emprego, no entanto, a qualidade do ajuste é inferior, sendo que séries simulada e empírica apresentam um grau de correlação de 0,3063. A amplitude dos ciclos do modelo computacional parece similar ao valor empírico para a trajetória da taxa de emprego, já para a participação do salário na renda, a amplitude do ciclo da série empírica é inferior à da série simulada, para essa observação.

Em suma, o modelo baseado em agentes de uma macrodinâmica clássica do tipo Goodwin com endogeneidade do nível de esforço e heterogeneidade de salários proposto neste trabalho não parece se ajustar bem às séries empíricas da economia norte-americana para o período de 1948 a 2002. No entanto, é importante notar a simplicidade do modelo e o número moderado de parâmetros nele utilizados. O mesmo comentário feito em [Goodwin \(1972, p. 442\)](#) aplica-se aqui: o modelo proposto é "*starkly schematized and hence quite unrealistic*". Apesar das limitações empíricas, o modelo proposto apresenta relevância teórica ao ser capaz de gerar, como propriedades emergentes, flutuações endógenas recorrentes da taxa de emprego e da participação do salário na renda que coexistam com persistência da heterogeneidade de salários e endogeneidade do nível de esforço com relação ao diferencial de salários com valor de elasticidade economicamente significativo, características essas que são fatos estilizados bem documentados pela literatura em economia.

Considerações Finais

Motivado pelos trabalhos de [Choi \(1995\)](#), no qual a adição da hipótese de salário-eficiência ao modelo de [Goodwin \(1967\)](#) torna impossível gerar flutuações endógenas recorrentes para valores economicamente significativos da elasticidade do esforço com relação ao salário real, e [Silveira \(2012\)](#), no qual um ambiente de heterogeneidade de salários coexiste com a homogeneidade da produtividade de trabalhadores similares, este trabalho propôs um modelo econômico sob o ponto de vista da complexidade, utilizando a ferramenta de modelagem computacional baseada em agentes, com endogeneidade da decisão de dispêndio de esforço por parte dos trabalhadores e heterogeneidade de estratégias por parte das firmas e trabalhadores quanto ao nível de salário praticado. Esta microdiversidade coevoluiu com um ambiente macrodinâmico clássico do tipo [Goodwin \(1967\)](#) influenciando a estrutura macroeconômica e por ela sendo influenciada.

O processo de barganha salarial é descentralizado, como em [Silveira \(2012\)](#), e formalizadas sob a forma de leilões duplos entre pares de firmas e sindicatos de trabalhadores. Quando o acordo salarial é viável, oferta salarial supera a demanda salarial, o salário acordado entre firmas e sindicatos é parametrizado pela taxa de emprego da economia. Como em [Goodwin \(1967\)](#), quanto maior a taxa de emprego mais favorável é o acordo para os trabalhadores, ou seja, mais próximo da oferta salarial estará. As propostas salariais recentes de firmas e sindicatos são decididas sem coordenação central e dependem do desempenho passado das propostas salariais escolhidas (via mecanismo de aprendizado por reforço) e buscam adaptação ao ambiente macroeconômico, que coevoluiu com as seleções de estratégias recorrentes.

A estrutura produtiva deste sistema econômico combina com proporções fixas os insumos trabalho e capital. No entanto, diferentemente do modelo seminal de [Goodwin \(1967\)](#), o nível de esforço despendido pelos trabalhadores é endógeno e função crescente da diferença entre o salário praticado pela firma empregadora deste trabalhador e as condições do mercado de trabalho de todo o sistema econômico. A endogeneidade do esforço do trabalho permite que firmas que pagam um salário mais alto consigam extrair um nível de esforço mais alto de seus trabalhadores e,

portanto, maior produtividade.

O modelo computacional com a microdiversidade proposta combinada com uma macrodinâmica clássica foi capaz de gerar séries agregadas de taxa de emprego e participação do salário na renda que apresentam oscilações endógenas recorrentes em torno de médias constantes, estas flutuações são existentes para valores economicamente significativos do parâmetro elasticidade do nível de esforço com relação ao diferencial de salários, ou seja, um valor positivo entre 0 e 1. Além disso, as séries econômicas relevantes apresentaram limitação da amplitude das flutuações em intervalos economicamente significativos.

Investigou-se, ainda, as propriedades macroeconômicas emergentes geradas pelo modelo computacional no que diz respeito à sensibilidade das médias de longo prazo da taxa de emprego e da participação do salário na renda quanto aos parâmetros do modelo. Quanto aos parâmetros estruturais do modelo (razão capital-produto, taxa de progresso técnico e taxa de crescimento da força de trabalho) alguns valores divergiram dos previstos originalmente por Goodwin (1967), principalmente os que dizem respeito à média de longo prazo da taxa de emprego. No entanto, como observa Blatt (1983), essas propriedades devem ser cuidadosamente analisadas, dado que dependem diretamente do pressuposto de linearidade da função barganha adotada por Goodwin (1967). Quanto aos parâmetros do algoritmo de aprendizagem, o modelo é sensível a variações em seus valores. As médias de longo prazo das variáveis macroeconômicas relevantes respondem positivamente a variações no parâmetro de reenticidade, enquanto, a relação com o parâmetro de experimentação é negativa. A adoção da hipótese de endogeneidade do nível de esforço com relação ao diferencial de salários tem efeitos, também, sobre as médias de longo prazo das variáveis quando há variações nos parâmetros da função sigmóide adotada. Com relação ao parâmetro μ , os resultados da média da taxa de emprego diferem das obtidas em Silveira (2012), mesmo caso observado quando é o parâmetro λ quem varia. Por fim, quanto aos parâmetros relacionados à função esforço adotada, variações nestes parâmetros parecem ter efeitos apenas distributivos no sistema econômico, não impactando a média de longo prazo da taxa de emprego. Sendo que quanto maior a elasticidade do esforço com relação ao diferencial de salários, mais favorável para os trabalhadores é o panorama da economia. Quanto ao peso da taxa de desemprego na decisão de esforço dispendido pelos trabalhadores, quanto maior esse peso, mais favorável às firmas configura-se o cenário econômico.

Por fim, testou-se a adequação do ajuste das simulações geradas pelo modelo computacional às séries temporais das variáveis econômicas agregadas empíricas da economia norte-americana no período de 1948-2002. As estatísticas reportadas dizem respeito tanto às médias incondicionais quanto aos componentes cíclicos das séries, tanto simuladas quanto empíricas, extraídas por um filtro Hodrick-Prescott (HP) e sugerem um baixo

grau de ajuste tanto para as tendências de longo prazo quanto para os ciclos de curto prazo do modelo proposto. Esta fragilidade do modelo em replicar as propriedades das séries empíricas talvez seja explicada pela simplicidade do modelo proposto.

Como sugestão para trabalhos posteriores, seria interessante substituir a estrutura de barganha salarial que neste trabalho é feita através de uma função de barganha salarial sigmóide por um processo de barganha salarial axiomática como proposta por Nash (1950). Além disso, o processo de revisão de estratégias de demandas e ofertas salariais pode ser feita como uma combinação de um mecanismo de aprendizado por reforço (*reinforcement learning*) com um mecanismo de aprendizagem social, onde os desempenhos das escolhas de agentes vizinhos impactem, também, nas decisões dos agentes, via externalidades de rede. Por fim, seria interessante, ainda, comparar a qualidade do ajuste de modelos alternativos, como, por exemplo, o modelo original proposto por Silveira (2012), onde não há endogeneidade do esforço do trabalho e um modelo que torne endógena a razão capital-produto.

Referências Bibliográficas

- Akerlof, G. (1982), 'Labor contracts as partial gift exchange', *The Quarterly Journal of Economics* **97**(4), 543–69.
- Akerlof, G. & Yellen, J. (1990), 'The fair wage-effort hypothesis and unemployment', *The Quarterly Journal of Economics* **105**(2), 255–83.
- Blatt, J. (1983), *Dynamic economic systems: a post-Keynesian approach*, M.E. Sharpe, New York.
- Bowles, S. & Gintis, H. (1990), 'Contested exchange: New microfoundations of the political economy of capitalism', *Politics and Society* **18**, 165–222.
- Charness, G. & Kuhn, P. (2007), 'Does Pay Inequality Affect Worker Effort? Experimental Evidence', *Journal of Labor Economics* **25**, 693–723.
- Chiarella, C., Flaschel, P. & Franke, R. (2005), *Foundations for a disequilibrium theory of the business cycle*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Choi, H. (1995), 'Goodwin's growth cycle and the efficiency wage hypothesis', *Journal of Economic Behavior & Organization* **27**(2), 223–235.
- DeJong, D. & Dave, C. (2011), *Structural Macroeconometrics: (Second Edition)*, Princeton University Press.
- Dickens, W. T. & Katz, L. (1987), Inter-industry wage differences and theories of wage determination, NBER Working Papers 2271, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Erev, I. & Roth, A. E. (1998), 'Predicting How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, Mixed Strategy Equilibria', *American Economic Review* **88**(4), 848–81.
- Fehr, E. & Falk, A. (1999), 'Wage rigidity in a competitive incomplete contract market', *Journal of Political Economy* **107**(1), 106–134.

- Fehr, E., Kirchler, E., Weichbold, A. & Gächter, S. (1998), 'When social norms overpower competition: Gift exchange in experimental labor markets', *Journal of Labor Economics* **16**(2), 324–51.
- Fonseca, P. V. (2013), 'Dinâmicas migratórias em um ambiente complexo e adaptativo com redes *small-world*', *Monografia (Graduação em Ciências Econômicas)*, Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis .
- Freitas, G. (2006), Economia e sistemas complexos: Interações sociais, dinâmicas emergentes e uma análise da difusão da internet na cidade de São Paulo, PhD thesis, IPE-FEA-USP, São Paulo.
- Frisch, R. (1933), Propagation problems and impulse problems, in R. Frisch & K. Koch, eds, 'Dynamic Economics. Economic essay in honor of Gustav Cassel', George Allen and Unwin, London.
- Goldsmith, A. H., Veum, J. R. & Darity, W. J. (2000), 'Working hard for the money? Efficiency wages and worker effort', *Journal of Economic Psychology* **21**(4), 351–385.
- Goodwin, R. M. (1967), A growth cycle, in 'Socialism, capitalism and economic growth', C. H. Feinstein.
- Goodwin, R. M. (1972), A growth cycle, in E. K. Hunt & J. G. Schwartz, eds, 'A critique of economic theory: Selected readings', Penguin, Harmondsworth, pp. 442–449.
- Groshen, E. L. (1991), 'Sources of intra-industry wage dispersion: How much do employers matter?', *The Quarterly Journal of Economics* **106**(3), 869–84.
- Harrod, R. (1939), 'An essay on dynamic economic theory', *Economic Journal* (49), 14–33.
- Henderson, D., Jacobson, S. & Johnson, A. (2003), The theory and practice of simulated annealing, in F. Glover & G. Kochenberger, eds, 'Handbook of Metaheuristics', Vol. 57 of *International Series in Operations Research and Management Science*, Springer US, pp. 287–319.
- Hodrick, R. J. & Prescott, E. C. (1997), 'Postwar u.s. business cycles: An empirical investigation', *Journal of Money, Credit and Banking* **29**(1), 1–16.
- Katz, L. F. (1986), Efficiency wage theories: A partial evaluation, in 'NBER Macroeconomics Annual 1986, Volume 1', NBER Chapters, National Bureau of Economic Research, Inc, pp. 235–290.

- Krueger, A. B. & Summers, L. H. (1988), 'Efficiency Wages and the Inter-industry Wage Structure', *Econometrica* **56**(2), 259–93.
- Kydland, F. E. & Prescott, E. C. (1982), 'Time to Build and Aggregate Fluctuations', *Econometrica* **50**(6), 1345–70.
- Lotka, A. (1925), *Elements of physical biology*, Williams & Wilkins company, Baltimore.
- Manfredi, P. & Fanti, L. (2000), 'Long-term effects of the efficiency wage hypothesis in goodwin-type economies', *Metroeconomica* **51**(4), 454–481.
- Mohun, S. & Veneziani, R. (2006), Goodwin cycles and the U.S. economy, 1948-2004, Technical report.
- Nash, J. (1950), 'The Bargaining Problem', *Econometrica* **18**(2), 155–162.
- Nicolaisen, J., Petrov, V. & Tesfatsion, L. (2000), Market Power and Efficiency in a Computational Electricity Market with Discriminatory Double-Auction Pricing, Computational Economics 0004005, EconWPA.
- Osborne, M., Gintis, H. & Bowles, S. (2001), 'The determinants of earnings: A behavioral approach', *Journal of Economic Literature* **39**(4), 1137–1176.
- Press, W. H. (2007), *Numerical Recipes 3rd Edition: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press.
- Ravn, M. & Uhlig, H. (2002), 'On adjusting the hodrick-prescott filter for the frequency of observations', *The Review of Economics and Statistics* **84**(2), 371–375.
- Romer, D. (2012), *Advanced Macroeconomics*, McGraw-Hill Education.
- Roth, A. E. & Erev, I. (1995), 'Learning in extensive-form games: Experimental data and simple dynamic models in the intermediate term', *Games and Economic Behavior* **8**(1), 164–212.
- Salop, S. C. (1979), 'A Model of the Natural Rate of Unemployment', *American Economic Review* **69**(1), 117–25.
URL: <http://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v69y1979i1p117-25.html>
- Samuelson, P. (1939), 'A synthesis of the principle of acceleration and the multiplier', *Journal of Political Economy* (47), 786–797.
- Shapiro, C. & Stiglitz, J. E. (1984), 'Equilibrium unemployment as a worker discipline device', *American Economic Review* **74**(3), 433–44.

- Silveira, J. J. d. (2012), 'Ciclos de Crescimento Goodwinianos: Um Estudo Sob a Perspectiva da Complexidade', *Economia* **13**(3b), 673–701.
- Silveira, J. J. d. & Lima, G. T. (2014), Effort elicitation, wage differentials and income distribution in a wage-led growth regime, Working paper series 10, Department of economics - FEA/USP.
- Slichter, S. (1950), 'Notes on the structure of wages', *Review of economics and statistics* (32), 80–91.
- Slutzky, E. (1937), 'The summation of random causes as the source of cyclic processes', *Econometrica* **5**(2), pp. 105–146.
- Solow, R. M. (1990), *Nonlinear and multisectorial macrodynamics: Essays in honour of Richard Goodwin*, MacMillan, London, chapter Goodwin's growth cycle: reminiscence and rumination, pp. 31–41.
- Stiglitz, J. E. (1974), 'Alternative Theories of Wage Determination and Unemployment in LDC'S: The Labor Turnover Model', *The Quarterly Journal of Economics* **88**(2), 194–227.
- Stiglitz, J. E. (1976), *Prices and Queues as Screening Devices in Competitive Markets*, IMSSS Technical Report No. 212, Stanford University.
- Summers, L. (1988), 'Relative wages, efficiency wages and keynesian unemployment', *American Economic Review* (78).
- Tesfatsion, L. (2006), 'Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory', *Handbook of Computational Economics* **2**, 831–880.
- Thaler, R. H. (1989), 'Interindustry Wage Differentials', *Journal of Economic Perspectives* **3**(2), 181–93.
- Volterra, V. (1926), 'Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi', *Memoria della Reale Accademia Nazionale dei Lincei. Ser. VI, vol. 2.* .
- Wang, Y.-C. & Usher, J. M. (2005), 'Application of reinforcement learning for agent-based production scheduling', *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (18), 73–82.
- Weiss, A. W. (1980), 'Job Queues and Layoffs in Labor Markets with Flexible Wages', *Journal of Political Economy* **88**(3), 526–38.

Apêndice A

Resultados das estimativas dos parâmetros

Os resultados da primeira equação estimada, $a(t) = (1 + \alpha)a(t-1) + z_t$, estão resumidos na seguinte tabela:

Sistema VAR, grau de defasagem 1
Estimativas MQO, observações 1949–2002 ($T = 54$)

Log da verossimilhança = $-63,5836$

Determinante da matriz de covariâncias = $0,616973$

AIC = $2,3920$

BIC = $2,4288$

HQC = $2,4062$

Teste de Portmanteau: $LB(13) = 4,3619$, $gl = 12$ [$0,9760$]

Equação 1: Produtividade
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HC1

	Coefficiente	Erro Padrão	razão- t	p-valor
Produtividade_1	1,02177	0,00226137	451,8367	0,0000
Média var. dependente	51,92004	D.P. var. dependente		15,99544
Soma resid. quadrados	33,31657	E.P. da regressão		0,792852
R^2	0,999791	R^2 ajustado		0,999791
$F(1, 53)$	253087,1	P-valor(F)		3,48e-99
$\hat{\rho}$	0,066085	Durbin-Watson		1,783331

Testes-F com zero restrições

Todas as defasagens de Produtividade $F(1, 53) = 204156$ [$0,0000$]

Para a segunda equação $N(t) = (1 + \beta)N(t - 1) + \epsilon(t)$, os resultados são:

Sistema VAR, grau de defasagem 1
Estimativas MQO, observações 1949–2002 ($T = 54$)

Log da verossimilhança = -426,234
Determinante da matriz de covariâncias = 420227,
AIC = 15,8235
BIC = 15,8603
HQC = 15,8377
Teste de Portmanteau: LB(13) = 13,2988, gl = 12 [0,3477]

Equação 1: Tamanho da força de trabalho
Erros padrão robustos à heteroscedasticidade, variante HC1

	Coefficiente	Erro Padrão	razão-t	p-valor
Mao_de_obra_1	1,01843	0,00135813	749,8744	0,0000
Média var. dependente	71798,33	D.P. var. dependente		22670,38
Soma resíd. quadrados	22692234	E.P. da regressão		654,3358
R^2	0,999926	R^2 ajustado		0,999926
$F(1, 53)$	713728,1	P-valor(F)		4,1e-111
$\hat{\rho}$	0,186316	Durbin-Watson		1,574757

Testes-F com zero restrições

Todas as defasagens de Tamanho da força de trabalho $F(1, 53) = 562312$ [0,0000]