

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO

EDIANE CANCI

CRESCIMENTO ECONÔMICO E INOVAÇÃO:
UMA ESTIMATIVA DA FRONTEIRA DE POSSIBILIDADES DE INOVAÇÃO

Porto Alegre

2016

EDIANE CANCI

CRESCIMENTO ECONÔMICO E INOVAÇÃO:
UMA ESTIMATIVA DA FRONTEIRA DE POSSIBILIDADES DE INOVAÇÃO

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Adalmir Antonio Marquetti

Porto Alegre

2016

Ficha Catalográfica

C215c Canci, Ediane

CRESCIMENTO ECONÔMICO E INOVAÇÃO : UMA ESTIMATIVA DA FRO
DE POSSIBILIDADES DE INOVAÇÃO / Ediane Canci . – 2016.
81 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em
Economia do Desenvolvimento, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Adalmir Antonio Marquetti.

1. Crescimento econômico. 2. Progresso técnico. 3. Inovação. 4.
Desenvolvimento econômico. I. Marquetti, Adalmir Antonio. II.
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

EDIANE CANCI

CRESCIMENTO ECONÔMICO E INOVAÇÃO:

UMA ESTIMATIVA DA FRONTEIRA DE POSSIBILIDADES DE INOVAÇÃO

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovada em: 30 de agosto de 2016.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Adalmir Antonio Marquetti – PUCRS

Prof. Dr. Guilherme de Oliveira - UFSC

Prof. Dr. Henrique Morrone - UFRGS

Porto Alegre

2016.

*Aos meus queridos pais,
que sempre lutaram por mim e
me mostraram a relevância do estudo.
Dedico-lhes mais essa conquista com amor e gratidão.*

AGRADECIMENTOS

O saber e o aprender são feitos por muitas vidas e o percurso deste estudo foi marcado por diversas contribuições. Por isso agradeço:

A Deus por estar comigo e nunca desistir de mim, por iluminar os meus pensamentos e escolhas e me lembrar que os teus planos são maiores que os meus sonhos. Agradeço a sua incansável proteção à minha família e especialmente nas viagens de estudo e trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Economia (PPGE) e à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) pela oportunidade de realizar uma pesquisa e fazerem da universidade um lugar de excelência, aprendizado e interação.

Ao Prof. Dr. Adalmir pela orientação nesta dissertação, por ceder um pouco do seu tempo e do seu conhecimento, pela generosidade em me conduzir pelos labirintos do saber que impulsionou a minha busca a uma maior profundidade e contribuiu para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço a cada um dos professores do PPGE pela imensa bagagem de conhecimento e por criarem as possibilidades para a construção do próprio conhecimento. Em especial ao Prof. Dr. Paulo Jacinto pelo suporte e incentivo, ao Prof. Dr. Gustavo pela atenção e ajuda na busca por oportunidades e ao Prof. Dr. Alessandro pela compreensão. Guardarei na memória os ensinamentos de cada aula.

Aos membros da Banca Examinadora pela disposição.

Aos professores Guilherme, Giana e Cláudio por encorajar-me a seguir na carreira acadêmica, pelo exemplo e a forma que me inspiraram e pela disposição em ensinar-me inúmeras coisas.

Aos colegas Paulo, Filipe, Dalto, Jn Francois e Inácio por dividirem o seu conhecimento e amizade. A Daiane pela amizade em todos os momentos e por me acolher carinhosamente na sua casa.

Aos colegas e amigos do Núcleo de Extensão Produtiva e Inovação (NEPI) da PUCRS pelo aprendizado no primeiro ano do mestrado.

Aos colegas, amigos e alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela experiência imensurável que me levou a compreender e amadurecer várias

lições nos demais meses do mestrado. Agradeço em especial aos colegas Liliane, Elizandra e Abdinardo pelo espírito de fraternidade e por compartilharem suas ideias e conselhos. A amizade desenvolve a felicidade e reduz o sofrimento, duplicando a nossa alegria e dividindo a nossa dor.

A todos os familiares, colegas e amigos que torceram por mim, meu sincero agradecimento.

Ao Mauricio pela cumplicidade, amor e atenção depositados em mim durante a escrita desta dissertação. Por tornar os meus dias mais alegres com a sua intensa motivação. A convivência com você tem sido marcante.

Agradeço, finalmente, aos dois seres humanos que fazem a minha existência ser completa: meus pais, Henrique e Inêz. Sou-lhes eternamente grata pelo exemplo de caráter e perseverança. Por me ensinarem a importância da paciência e da educação, pelos conselhos que foram estímulos constantes, pelo amor e cuidado incondicionais, pelas suas orações, pela proteção e guarida em todos os momentos, pela força nos dias de saudade e palavras afáveis que me faziam seguir em frente e jamais desistir, por todas as vezes que abdicaram de certos merecimentos da vida e não mediram esforços para tornar possível mais este sonho, meu muito obrigado. Sem vocês a realização deste sonho não seria possível.

“Big things often have small beginnings.”

(desconhecido)

RESUMO

A presente dissertação investiga o formato da Fronteira de Possibilidades de Inovação para os Estados Unidos no período de 1950 a 2011. Utiliza-se o modelo teórico de Kennedy (1964) para a estimação de um modelo econométrico de séries de tempo entre as taxas de crescimento das produtividades do trabalho e do capital. O banco de dados utilizado foi o *United States Long Term* – USLT, organizado por Dumenil e Lévy (1994). Os resultados sugerem que a Fronteira de Possibilidades de Inovação é compatível com a descrição do progresso técnico ocorrido no período de análise e apontam a existência de um *trade-off* entre as taxas de crescimento das produtividades do trabalho e do capital para os Estados Unidos no período em estudo.

Palavras-Chave: crescimento econômico; progresso técnico; inovação; desenvolvimento econômico.

ABSTRACT

This dissertation investigates the format of Innovation Possibilities Function to the United States in the period of 1950 to 2011. Is used the theoretical model of Kennedy (1964) for the estimation of an econometric model series time between the growth rates of labor productivity and capital. The database used was the United States Long Term - USLT organized by Dumenil and Levy (1994). The results suggest that the Innovation Possibilities Function is compatible with the description of technical progress happened during the analysis period and point the existence of a trade-off between the growth rates of labor productivity and capital to the United States in the period in study.

Key-Words: economic growth; technical progress; innovation; economic development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação Salário Real - Taxa de Lucro.....	21
Figura 2 – Relação Consumo Social - Taxa de Crescimento.....	22
Figura 3 – Relação de Distribuição-Crescimento.....	23
Figura 4 – Função de produção com um número infinito de técnicas.....	25
Figura 5 – Representação do progresso técnico Harrod-neutro.....	28
Figura 6 – Representação do progresso técnico Solow-neutro.	29
Figura 7 – Representação do progresso técnico Hicks-neutro.....	30
Figura 8 – Representação do progresso técnico Marx-viesado.....	31
Figura 9 – Função Fronteira de Possibilidades de Inovação.....	36
Figura 10 - Modelo evolucionista clássico-marxista de mudança técnica.....	41
Figura 11 – Fronteira de viabilidade Dumenil e Levy.....	43
Figura 12 – Caracterização Equivalente da Condição de Viabilidade.....	54
Figura 13 – Evolução das taxas de crescimento dos parâmetros trabalho e capital nos Estados Unidos entre 1950-2011.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos testes de estacionariedade para taxas de crescimento de oito anos.....	70
Tabela 2 – Resultados da estatística descritiva.....	71
Tabela 3 – Resultados do modelo de regressão.....	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 PROGRESSO TÉCNICO E CRESCIMENTO ECONÔMICO	18
2.1 SISTEMA DE REPRESENTAÇÃO DAS CONTAS NACIONAIS	18
2.2 ESCOLHA DA TÉCNICA E A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	25
2.3 CLASSIFICAÇÃO DO PROGRESSO TÉCNICO	27
2.4 A ABORDAGEM DE HICKS-KENNEDY	33
2.5 A ABORDAGEM DE DUMÉNIL-LEVY	39
3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE O PROGRESSO TÉCNICO MARX-VIESADO	46
3.1 A TEORIA CLÁSSICA DE PROGRESSO TÉCNICO E A RELAÇÃO DISTRIBUIÇÃO-CRESCIMENTO	47
3.1.1 A CONDIÇÃO DE VIABILIDADE CLÁSSICA	54
3.2 A TEORIA NEOCLÁSSICA DE PROGRESSO TÉCNICO E A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO AGREGADA	59
4 A FRONTEIRA DE POSSIBILIDADES DE INOVAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS	62
4.1 METOLOGIA E TESTES	62
4.2 BASE DE DADOS	66
4.3 APLICAÇÃO EMPÍRICA	67
4.4 RESULTADOS	69
5 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Na economia capitalista, o crescimento econômico está diretamente relacionado com as mudanças tecnológicas. Uma característica comum às abordagens tecnológicas é que estas vão aparecer no modelo de crescimento como mudanças nas técnicas de produção de período para período. O efeito de progresso técnico permite produzir maiores quantidades de um bem, dados os insumos de capital e de trabalho. O progresso técnico vai ocorrer de forma induzida sempre que houver pressões em busca de novas técnicas diante de mudanças no sistema econômico.

As minúcias da história tornaram pertinente a questão sobre o papel do progresso técnico na dinâmica do crescimento econômico. Foley (2003) salienta que esta discussão permanece viva, pois os fundamentos da hipótese de progresso técnico induzido ainda se encontram sem uma boa explicação. Se ao progresso técnico é associado o papel fundamental do crescimento econômico é necessário que suas causas sejam investigadas.

Ao se pensar sobre crescimento econômico defronta-se com a preocupação dos seus efeitos sobre a distribuição de renda. O crescimento econômico é determinado pelos seguintes fatores: crescimento da força de trabalho, acumulação de capital, crescimento do estoque de capital e progresso técnico. Souza (2002) mostrou que outras fontes de crescimento podem ser: economias de escala, decorrente do aumento do tamanho de mercado e do nível de produção; aumento da produtividade, pela transferência de trabalhadores e atividades de setores menos eficientes; e economias externas, geradas por reformas institucionais e pela difusão do conhecimento entre os agentes produtivos. O aumento da produtividade do trabalho e os efeitos da inovação são amplos. Entre eles, cita-se a redução nos custos totais de produção.

A economia capitalista tem experimentado mudanças da produtividade do capital e do trabalho ao longo do tempo. Foley e Michl (1999) lembram que um dos aspectos relevantes para a promoção do crescimento econômico é a mudança nos parâmetros estruturais da economia. Adam Smith (1776) já explicava o crescimento econômico pelas possibilidades de aumento da produtividade que a ampliação de mercados enseja ao permitir a especialização e a simplificação das funções produtivas. Tal especialização permitiria a melhora da eficiência

produtiva por meio do aprendizado pela experiência do trabalhador, bem como a mecanização da função.

Um vasto montante de pesquisa sobre o progresso técnico foi efetivado a partir da metade dos anos 50. A discussão sobre o assunto vem de longa data sendo conduzida por economistas. Entre os economistas de tradição clássica estão Smith (1937), Ricardo (1951), Malthus (1986) e seu principal crítico Karl Marx (1982). Para estes autores o progresso técnico não é exógeno aos modelos econômicos, tal como em Solow (1956), mas sim endógeno, ou inerente à dinâmica do sistema capitalista. Para alguns autores, tais como Nordhaus (1969), Kaldor (1957), Kennedy (1964), Schmookler (1966) e Thirlwall (1972) o progresso técnico exógeno é uma suposição analítica, sendo que a representação da realidade econômica é mais apropriada quando se considera que o progresso técnico é incorporado ao sistema.

A teoria do crescimento endógeno teve impulso nos anos de 1980, sendo popularizada por Romer (1986), embora sua origem seja mais antiga, podendo ser encontrada em Schultz (1961), Arrow (1962), Nelson e Phelps (1966), Schultz (1967) e Nordhaus (1969). O progresso técnico endógeno no processo de crescimento pode exercer efeitos expansivos sobre o produto ao elevar a produtividade dos fatores e retransmitir esses efeitos entre as unidades produtivas, embora muitas teorias modernas de crescimento admitam que o progresso técnico aconteça a uma taxa exógena. De acordo com Souza (2005) busca-se encontrar as fontes de crescimento que fazem parte do interior do sistema produtivo, e não apenas medir a parte não explicada. Marx (1984) compreendeu que o progresso técnico de longo prazo está incorporado no padrão de crescimento econômico de tal modo que sugeriu o progresso técnico como uma variável endógena ao processo de desenvolvimento econômico.

Segundo Marx (1984) o progresso técnico foi o grande triunfo do capitalismo. O progresso técnico ocorreu de forma induzida em função das constantes pressões na primeira fase do capitalismo, em que o “trabalho vivo” era substituído por “trabalho morto” à medida que o custo do salário aumentava em relação aos custos totais. Ao fazer isso os capitalistas aumentavam o capital por trabalhador. Deste modo, Marx (1984) notou que o estoque de capital tende a aumentar mais rápido do que o número de trabalhadores, causando o aumento da produtividade do trabalho. Existe, portanto, uma tendência capitalista em busca da redução dos custos trabalhistas por meio da modificação de técnicas produtivas substituindo trabalho humano por máquinas e equipamentos intensivos em capital.

Hicks (1932) retoma a hipótese clássica-marxista e sugere que o capitalista inova, de fato, sempre que os custos do trabalho se elevam em relação aos custos totais. Assim, a mudança técnica é dirigida para economizar o uso do fator de produção que se tornou relativamente mais caro. Considera, pois que qualquer inovação que permita reduzir este custo será válida.

À luz da teoria clássica, Charles Kennedy (1964) resgatou a sugestão de Hicks (1932) para escrever um texto com o intuito de formalizar matematicamente a hipótese marxista do progresso técnico induzido. O texto de Kennedy (1964) é considerado uma resposta à crítica de Salter (1960). A ideia consiste em questionar o porquê da constância da parcela dos salários e dos lucros na renda nacional, afirmando que os argumentos de Salter (1960) que dão ênfase a rejeição do progresso técnico poupador de trabalho não explicam alguns fatos históricos importantes: se o objetivo é reduzir custos totais médios independentemente da técnica, o esquema não explica porque a participação dos salários e dos lucros na renda nacional permanece constante nas economias capitalistas. Kennedy (1964) formaliza o argumento clássico do progresso técnico induzido ao propor a existência de uma fronteira de possibilidades de inovação.

O interesse recente sobre o debate teórico acerca da perspectiva clássica do desenvolvimento econômico é visto nos trabalhos de Marquetti (2004) e Duménil e Lévy (2009). O que transportou a história para tempos recentes foi a intensificação de que o progresso técnico é um fator fundamental no crescimento das economias. Ainda assim, há um reduzido número de trabalhos que investigam empiricamente esse assunto. O registro das concepções teóricas desperta o interesse em investigar empiricamente a relação entre o progresso técnico e o seu impacto no crescimento econômico. Daí o desafio inerente a esse trabalho de verificar se o formato empírico da fronteira de possibilidades de inovação assume, de fato, àquele descrito por Kennedy (1964). A presente dissertação contribui para a literatura do desenvolvimento econômico sobre as variáveis que permeiam o progresso técnico induzido. O problema de pesquisa desta dissertação é: o formato teórico da fronteira de possibilidades de inovação derivada de Kennedy (1964) encontra aderência empírica quando estimado para os Estados Unidos no período de 1950-2011?

O objetivo geral desta dissertação é investigar a consistência empírica da Fronteira de Possibilidades de Inovação, teoricamente derivada por Kennedy (1964) para os Estados

Unidos no período de 1950-2011. Para cumpri-lo, consideram-se como principais objetivos específicos:

- a. Revisar a literatura clássica do desenvolvimento econômico que trata da hipótese do progresso técnico induzido e identificar os fundamentos teóricos envolvidos na derivação da fronteira de possibilidades de inovação;
- b. Verificar os métodos pelos quais o progresso técnico pode ser representado;
- c. Estimar a fronteira de possibilidades de inovação para os Estados Unidos com base nos dados listados na *United States Long Term (USLT)* no período de 1950-2011;
- d. Averiguar se a fronteira de possibilidades de inovação estimada é uma descrição compatível com o progresso técnico ocorrido no período de análise.

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, além desta introdução e depois a conclusão. Inicialmente, o segundo capítulo faz uma revisão das concepções observadas na literatura recente sobre a teoria do progresso técnico induzido, sobretudo centrando-se nas concepções teoricamente derivadas de Kennedy (1964), a classificação do progresso técnico e as razões pelas quais se pode esperar que o progresso técnico assuma uma forma particular, por fim os seus efeitos na distribuição de renda entre capital e trabalho. Num segundo momento, o terceiro capítulo destaca a metodologia empregada, as abordagens no que tange à teoria do progresso técnico induzido, os resultados obtidos pela aplicação de estudos empíricos com metodologias semelhantes, as técnicas e testes empregados na operacionalização e a descrição dos dados que abastecerão o modelo de análise. Na sequência, o quarto capítulo, evidencia os resultados da configuração adotada e a exposição dos dados que perfazem a análise dos testes capazes de mensurar a percepção de progresso técnico induzido. Para finalizar as limitações do estudo e as considerações finais são mencionadas.

2 PROGRESSO TÉCNICO E CRESCIMENTO ECONÔMICO

O presente capítulo faz uma revisão de literatura sobre progresso técnico induzido no contexto do crescimento econômico. O capítulo está organizado em cinco seções. A primeira seção é referente ao sistema de representação das contas nacionais, a relação de distribuição-crescimento e a percepção de como o crescimento econômico pode ser quantificado. A segunda seção demonstra como a função de produção pode ser empregada na escolha da técnica. Na terceira seção são representados os tipos de progresso técnico relevantes na literatura. Em seguida a quarta seção descreve o progresso induzido com base na abordagem de Hicks-Kennedy. Justificam-se ainda as regras de como o modelo de Kennedy foi adaptado para a teoria do progresso técnico e para a literatura de crescimento econômico. O capítulo é encerrado discutindo-se o progresso técnico induzido segundo a concepção de Duménil-Lévy.

2.1 SISTEMA DE REPRESENTAÇÃO DAS CONTAS NACIONAIS

Uma forma de visualizar as contas nacionais é utilizando a relação de distribuição-crescimento. Esta ferramenta ilustra as mudanças técnicas de uma economia ao longo do tempo e o tipo de mudança técnica que está ocorrendo. A relação de distribuição-crescimento mostra como a economia aloca seu produto entre crescimento e consumo e revela as relações subjacentes de distribuição entre salários reais e lucros. Permite ainda comparar o padrão de crescimento e de distribuição entre duas economias.

Conforme disposto por Foley e Michl (1999) uma das formas de mensurar o crescimento econômico é analisar a evolução da produtividade do trabalho e do capital ao longo do tempo. A produtividade do trabalho depende da técnica, dos bens de capital e dos recursos naturais. O número de trabalhadores empregados na produção, dada a tecnologia, é limitado pela acumulação do estoque de capital e pelos recursos naturais disponíveis. Em uma última análise, o crescimento econômico depende do aumento da população produtiva, da acumulação do estoque de capital e das mudanças tecnológicas. De acordo com Duménil e Lévy (2009), no modelo de produção capitalista são considerados três tipos de agentes:

i) os trabalhadores que ofertam trabalho por um salário;

ii) os empresários que a serviço dos capitalistas organizam a produção, contratam os trabalhadores, vendem o produto e retornam a renda residual na forma de lucro para os capitalistas após pagarem os salários aos trabalhadores; e,

iii) os capitalistas que são os proprietários do capital.

Para comparar diferentes economias ou a mesma economia em diferentes anos, define-se o produto bruto (X) em relação aos insumos de trabalho e de capital empregados na produção. O produto bruto é o valor da produção bruta medido a uma determinada moeda. Para os insumos de trabalho utiliza-se o símbolo, L, que pode ser medido em horas de trabalho ou em número de trabalhadores. Para os insumos de capital utiliza-se o símbolo K, sendo medido na mesma moeda que o produto.

A relação produto-trabalhador possui como unidade \$/trabalhador e é chamada produtividade do trabalho (x). A produtividade do trabalho é calculada por:

$$x = \frac{X}{L} \quad (2.1.1)$$

A relação produto-capital, também chamada de produtividade do capital, é expressa como:

$$\rho = \frac{X}{K} \quad (2.1.2)$$

Para encontrar a expressão que mostra a intensidade do capital, calcula-se a relação capital-trabalho por:

$$k = \frac{K}{L} \quad (2.1.3)$$

A taxa de depreciação é a razão entre depreciação (D) e capital (K):

$$\delta = \frac{D}{K} \quad (2.1.4)$$

Mudanças nos parâmetros x , ρ , k e δ representam mudanças técnicas e resultam em movimentos da relação de distribuição-crescimento. Esta, por sua vez, é uma linha reta definida por dois pontos:

(0, x) – mínimo lucro e máximo salário-real;

(ρ , 0) – máximo lucro e mínimo salário-real.

Considera-se que a técnica de produção em uso determina a produtividade do trabalho e do capital, bem como a relação capital-trabalho (k) da economia. Os autores Foley e Michl (1999) afirmam que com o desenvolvimento econômico há uma tendência a diminuir a produtividade do capital e aumentar a produtividade do trabalho. Isto acontece porque o desenvolvimento econômico leva a métodos de produção intensivos em capital e a mudança na produtividade do capital. Ou seja, tem-se progresso técnico quando, no processo de acumulação de capital, novas técnicas são introduzidas e reduzem a quantidade de trabalho empregado na produção de determinado bem ou serviço. A relação entre o estoque de capital (k) e a produtividade do trabalho (x) é forte e positiva. Mostra que o processo de crescimento econômico tenderá a incrementar o estoque de capital por trabalhador, ao mesmo tempo que aumenta a produtividade do trabalho. Posto isso, uma técnica de produção pode ser descrita como:

- i) O capital necessário no início do período para equipar uma unidade de trabalho, K ;
- ii) Quanto de produto foi produzido ao final do período, x , e
- iii) Quanto do capital foi depreciado, δ . Em vista disso, uma mudança técnica pode ser descrita como uma combinação de mudança nos parâmetros produtividade do capital, ρ , e produtividade do trabalho, x .

Neste modelo de produção, o empresário contrata um trabalhador por um salário, w e escolhe a técnica de produção definida por (ρ, x, δ) . Dada a técnica o empresário define o número de trabalhadores por período e paga como resíduo o lucro bruto para o capitalista no fim do período produtivo. Conforme abordado em Foley e Michl (1999), aumentos nos parâmetros produtividade do trabalho " x " e produtividade do capital " ρ " são fundamentais para o crescimento econômico. As mudanças dos parâmetros x e ρ são definidos em termos de movimentos na relação de distribuição-crescimento. Desse modo, qualquer padrão de progresso técnico pode ser representado pela relação de distribuição-crescimento. Este instrumento representa graficamente a contabilidade nacional utilizando uma reta com um intercepto na vertical, para medir a produtividade do trabalho, e um intercepto na horizontal, para medir a produtividade do capital. Permite enfatizar informações relevantes e fazer comparações entre a distribuição e o crescimento em diferentes períodos de tempo de uma economia.

A economia enfrenta escolhas, de modo que a produção pode ser utilizada para o consumo (C) ou para o investimento bruto (I). A demanda nacional é dada pelo somatório do consumo e investimento bruto. Dessa forma, o produto bruto (X) pode ser expresso como:

$$X = C + I \quad (2.1.5)$$

Foley e Michl (1999) argumentam que numa economia capitalista o produto pode ser distribuído na forma de salários e na forma de lucros entre duas classes sociais. Os capitalistas proprietários do capital recebem o lucro (Z), e os trabalhadores detentores da força de trabalho recebem o salário (W). O lucro bruto é, posteriormente, dividido em depreciação e lucro líquido. Logo, existe um *trade-off* entre salários e lucros, dado o valor do produto, expresso por:

$$X = W + Z \quad (2.1.6)$$

O salário real por trabalhador (w) pode ser expresso em termos do número de trabalhadores (L) pelo total de salário.

$$w = \frac{W}{L} \quad (2.1.7)$$

A taxa de lucro bruta (v) é obtida dividindo-se o lucro pelo estoque agregado de capital (K).

$$v = \frac{Z}{K} \quad (2.1.8)$$

A diferença entre a taxa de lucro bruta e a taxa de depreciação resulta na taxa de lucro líquida (r).

$$r = v - \delta \quad (2.1.9)$$

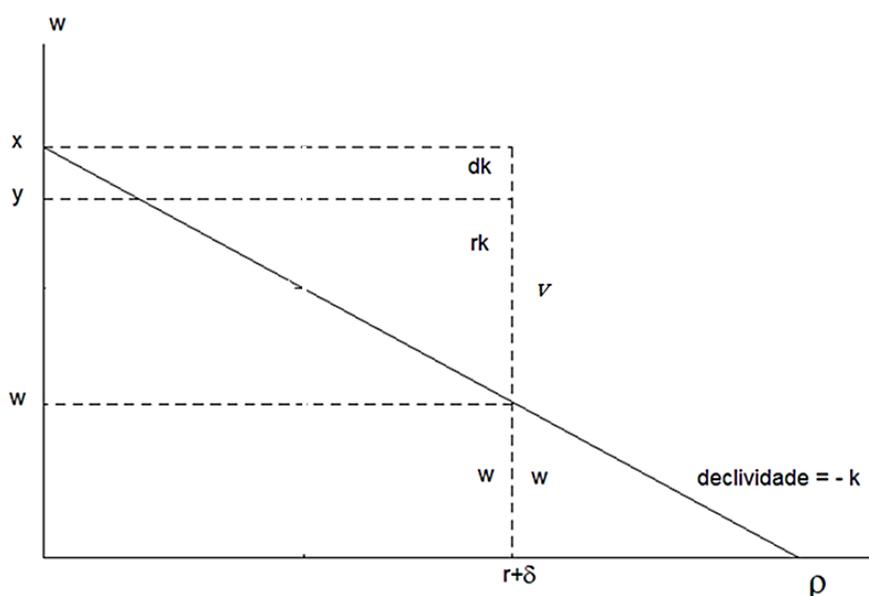
Para quantificar o produto, Foley e Michl (1999) examinam as contas nacionais de duas formas: pela ótica da renda e pela ótica da despesa. Pela ótica da renda, o resultado da medida do produto irá mostrar um *trade-off* entre salários e lucros que a sociedade deve distribuir. O salário-real é visto como o produto deixado após o capitalista ter recebido o seu lucro, podendo ser representado pela relação salário real-taxa de lucro.

$$w = x - vk \quad (2.1.10)$$

A Figura 1 ilustra como ocorre a distribuição do valor da produção entre lucros e salários numa economia capitalista com dada produtividade do trabalho (x) e do capital (ρ). A proposição da relação salário real-taxa de lucro é que existe uma relação inversa entre o salário real e a taxa de lucro.

A inclinação da reta é representada por $-k$. Quando o salário real é igual ao produto por trabalhador ($w = x$) a taxa de lucro (v) é igual a zero. Quando o salário real é igual a zero ($w = 0$) a taxa de lucro bruta é igual ao produto por trabalhador ($v = \rho$) e está no seu máximo. Quando a taxa de lucro líquida é igual a zero ($r = 0$) o salário real é igual ao produto líquido ($w = y$).

Figura 1 – Relação Salário Real - Taxa de Lucro



Fonte: FOLEY, D.; MICHL, T. R. *Growth and Distribution*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

Foley e Michl (1999) afirmam que o salário real é o princípio fundamental para a escolha da técnica maximizadora de lucro. De acordo com esta concepção é o salário real que determina a técnica utilizada. Qualquer mudança no salário acarretará mudança da técnica de produção já que quanto maior for o salário real menor a taxa de lucro para uma dada produtividade do capital e do trabalho.

Pela ótica da despesa o *trade-off* ocorre entre o consumo e o investimento. Esse é investigado a partir da relação consumo social-taxa de crescimento do capital (g_K). A acumulação de capital provoca um aumento no estoque de capital que é fundamental para o crescimento. A taxa de crescimento representa a relação entre o investimento bruto e o capital, sendo expressa como:

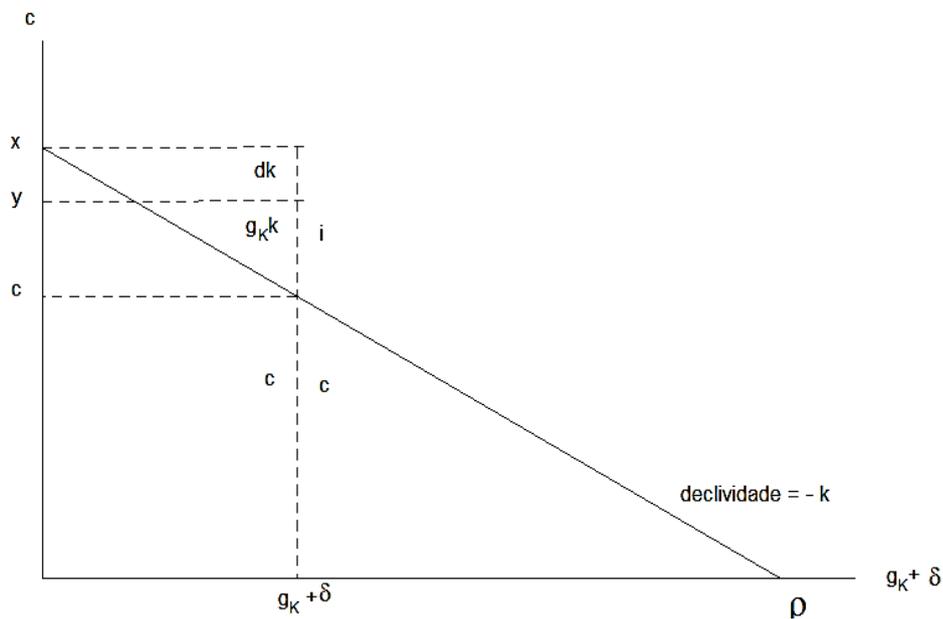
$$g_K + \delta = \frac{I}{K} \quad (2.1.11)$$

O consumo social por trabalhador é a produtividade do trabalho menos o investimento por trabalhador. A relação consumo social-taxa de crescimento é expressa da seguinte forma:

$$c = x - (g_K + \delta) k \quad (2.1.12)$$

A taxa de crescimento do consumo social representa a distribuição da produção entre o consumo e o investimento bruto, e pode ser ilustrada na Figura 2.

Figura 2 – Relação Consumo Social - Taxa de Crescimento

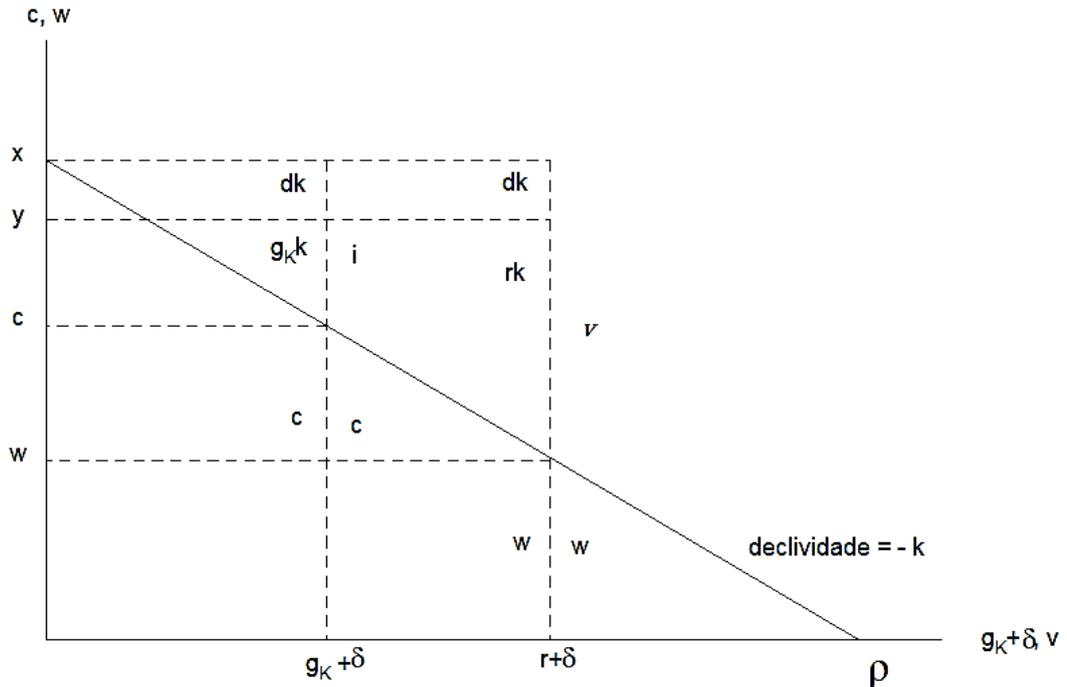


Fonte: FOLEY, D.; MICHL, T. R. Growth and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

Para uma dada técnica a relação é uma linha reta com inclinação igual a $-k$. Se o consumo social for zero então $g_K + \delta = -\rho$. Se o investimento for zero tem-se $x = c$. Tanto a relação salário real-taxa de lucro quanto a relação consumo social-taxa de crescimento dependem de k (relação capital-trabalho), x (produtividade do trabalho) e δ (depreciação).

A combinação da relação salário real-taxa de lucro (equação 2.1.10) e da relação consumo social-taxa de crescimento (equação 2.1.12) é ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Relação de Distribuição-Crescimento



Fonte: FOLEY, D.; MICHL, T. R. Growth and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

Chama-se de Relação de Distribuição-Crescimento, pois permite mostrar a renda agregada dos produtos nacionais e as contas nacionais numa visão completa da dinâmica de crescimento na economia capitalista. A declividade é dada pelo negativo da relação capital-trabalho. Desse modo, quanto maior k maior a declividade da relação de distribuição-crescimento. De acordo com Foley e Michl (1999) a taxa de crescimento não é igual a taxa de lucro visto que uma parcela dos lucros é consumida. Da mesma forma, o consumo social por trabalhador excede o salário real devido à existência do consumo capitalista de parcela dos lucros. A partir da relação de distribuição-crescimento é possível visualizar a interdependência entre as variáveis no plano (x, ρ) e vários componentes do sistema de contas nacionais.

2.2 ESCOLHA DA TÉCNICA E A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

Cada combinação dos parâmetros k , x e δ define uma técnica de produção, um método particular de combinar os insumos de capital e trabalho para produzir um produto. As técnicas de produção descrevem quanto de capital é necessário no início do período para equipar um trabalhador, quanto foi produzido e quanto de estoque de capital deteriorou-se no período. Diferentes técnicas resultam em diferentes rendimentos da taxa de lucro, dados os salários reais. Os empresários vão escolher a técnica de produção que maximize o lucro.

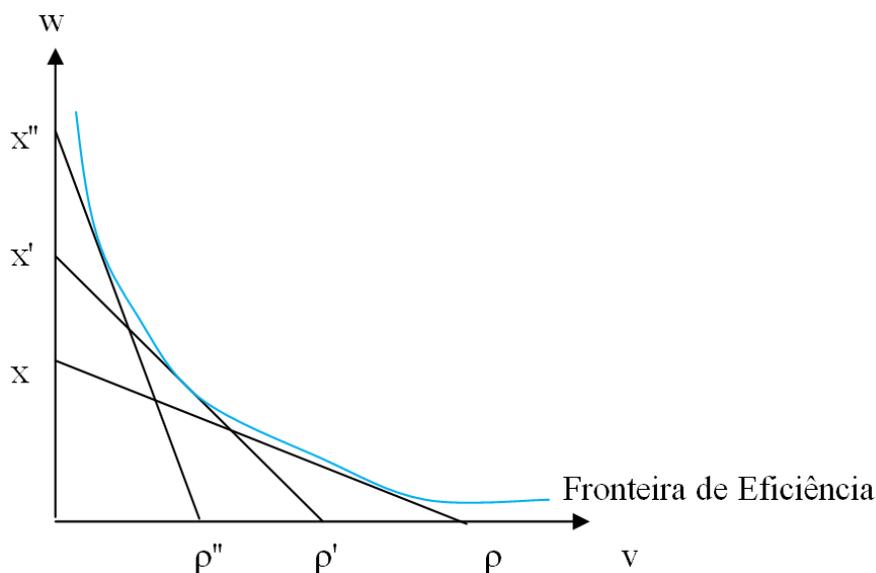
Ao conjunto de todas as técnicas conhecidas na economia chama-se tecnologia. A função que representa a máxima produção possível dado os níveis de trabalho e capital é chamada de função de produção. Esta função mostra a relação técnica entre a quantidade física de fatores de produção ou insumos e a quantidade física do produto em determinado período do tempo e supõe que a eficiência técnica já foi atingida. Segundo Foley e Michl (1999), a função de produção Cobb-Douglas tem um número infinito de técnicas. Uma função de produção pode ser escrita na forma genérica:

$$X = f(L, K, A) \quad (2.2.1)$$

Onde X representa o produto, L a força de trabalho, K o capital e A o progresso técnico.

A Figura 4 mostra três relações salário real-taxa de lucro tangentes à uma fronteira de eficiência. A fronteira de eficiência é o limite de todas as técnicas produzidas. Uma técnica é dominada por outra quando a relação salário real-taxa de lucro está inteiramente abaixo e à esquerda das outras técnicas. Quando a fronteira de eficiência é uma curva suave que descreve a função de produção, todos os pontos ao longo desta fronteira são pontos de troca da técnica.

Figura 4 – Função de produção com um número infinito de técnicas



Fonte: FOLEY, D.; MICHL, T. R. Growth and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

O princípio fundamental é que a escolha da técnica maximizadora de lucros depende do salário real. De acordo com esta concepção o salário real é que determina a produtividade marginal do trabalho. Um pequeno aumento no salário real leva a uma mudança na técnica que maximiza o lucro, para aquele que emprega um pouco mais de capital por trabalho. A técnica de produção escolhida será aquela em que a produtividade marginal do trabalho é igual ao salário ($PMg_L = w$) e a produtividade marginal do capital é igual a taxa de lucro ($PMg_K = v$). Para Foley e Michl (1999) a técnica que possui a maior taxa de lucro ao salário real vigente é escolhida. Se houver uma técnica de produção apenas, não haverá produtividade marginal do trabalho, e a técnica que maximiza o lucro será tangente à função de produção.

A combinação entre capital e trabalho para produzir um bem também pode ser feita de uma única forma. A função de produção de Leontief, ou função de produção dos coeficientes fixos tem apenas uma técnica de produção. Os coeficientes fixos da função de produção são especificamente capital e trabalho, que podem ser combinados para produzir um bem. Para Simon e Blume (2004) é um modelo linear de produção que considera que cada atividade econômica produz somente um produto. Cada mercadoria é um produto de uma única atividade e têm um fator primário (em geral denominado trabalho) que não é um produto de atividade produtiva alguma, mas um insumo de cada processo.

A função de produção de Leontief é escrita matematicamente:

$$X = \min(\rho k, xL) \quad (2.2.2)$$

Dividindo pelo número de trabalhadores (L) é possível escrever a função de produção intensiva com coeficientes fixos:

$$x = \min(\rho K, x) \quad (2.2.3)$$

A função $\min(\dots)$ de dois números sempre apresentará o menor valor. Esta função mostra que o produto X é limitado tanto pela saída de capital empregado quanto pela saída de trabalho empregado, qualquer menor. Em outras palavras, para cada unidade de x dispendida o empresário precisa ter pelo menos ρk unidades de capital e 1 unidade de trabalho. Os coeficientes fixos da função de produção descrevem exatamente a técnica de produção. Como há somente uma técnica para combinar trabalho e capital, então não será possível determinar a produtividade marginal dos fatores.

O problema da escolha da técnica de produção permite distinguir as diferentes formas de progresso técnico. Na próxima seção será apresentada a classificação do progresso técnico e qual o seu impacto sobre as variáveis de distribuição.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DO PROGRESSO TÉCNICO

A classificação do progresso técnico foi introduzida na literatura com o objetivo de interpretar os seus efeitos sobre as participações relativas de capital e trabalho. A tecnologia consiste de um conjunto de diversas técnicas que são conhecidas. Foley e Michl (1999) lembram que o progresso técnico pode afetar cada técnica diferentemente. Esta situação pode ser simplificada ao assumir que todas as técnicas de uma tecnologia sofrem o mesmo padrão de progresso técnico. As mudanças técnicas podem ser classificadas de acordo com os seus efeitos em aumentar, manter inalterado ou reduzir a razão do produto marginal do capital pelo do trabalho.

Ao se pensar em progresso técnico faz-se necessário compreender quais fatores causam o seu efeito. De acordo com Pichardo (2015) a taxa de crescimento da produtividade

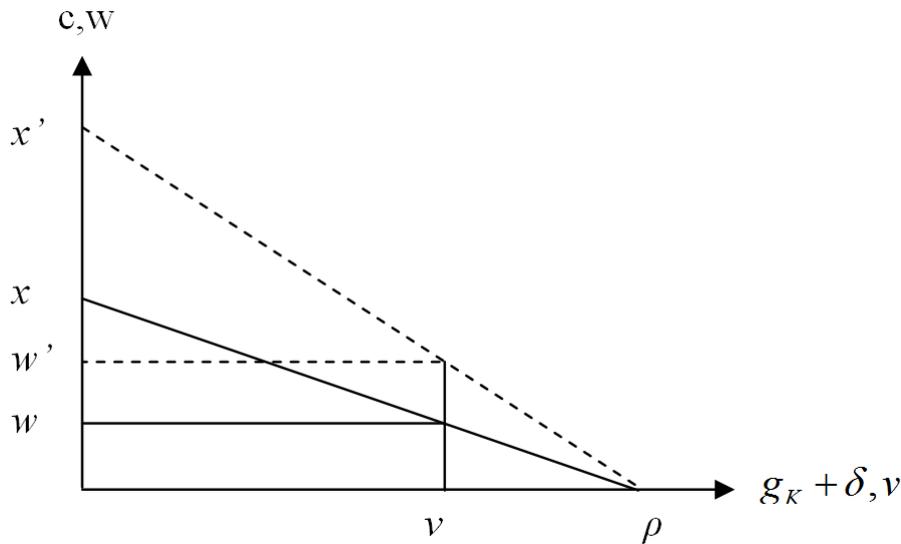
do trabalho (g_x) e a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) são determinantes na escolha do tipo de progresso técnico. A partir desta suposição os empresários decidem pela adoção de uma determinada técnica dados a taxa de salário e a taxa de lucro. O progresso técnico é adotado sempre que os capitalistas buscam reduzir os custos e aumentar a lucratividade. Uma vez que a distribuição de renda seja constante e que g_x e g_p sejam definidos é possível encontrar vários tipos de progresso técnico.

Pode-se dar uma interpretação econômica simples e classificar o progresso técnico em três tipos de progresso técnico neutro, dependendo da variação da produtividade do capital do trabalho. Jones (1979) apresenta três tipos de progresso técnico: Hicks, Harrod e Solow. Conforme disposto por Jones (1979, p. 182): “a classificação Harrod compara pontos nos quais a relação capital-produto é constante em oposição ao procedimento de Hicks que compara pontos nos quais a relação capital-trabalho é constante”. Nota-se que ambos os progressos técnicos, segundo Hicks e Harrod, podem ser sistematizados em termos de efeitos sobre a distribuição de renda. Um terceiro tipo, chamado Solow-Neutro, é o progresso técnico puramente aumentador de capital. O progresso técnico puramente aumentador de capital compara os pontos na nova e na antiga função de produção, nas quais a produtividade do trabalho é constante.

As três classificações de progresso técnico neutro podem ser sumarizadas ao considerar que:

- Se todas as técnicas em uma tecnologia tiverem o mesmo aumento na produtividade do trabalho, haverá progresso técnico puramente poupador de trabalho ($g_p = 0$), chamado de Harrod-Neutro. Esta forma de progresso técnico está representada na Figura 5.

Figura 5 – Representação do progresso técnico Harrod-Neutro



Fonte: Elaborado pela autora com base em FOLEY, D.; MICHL, T. R. Growth and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

Para medir o progresso técnico Harrod-Neutro em termos da taxa de crescimento da produtividade do trabalho remete-se à equação:

$$g_x = \frac{x_{+1} - x}{x} \quad (2.3.1)$$

Logo, o progresso técnico puramente poupador de trabalho é representado por:

$$F'(K, N) = F[K, (1 + \gamma)N] \quad (2.3.2)$$

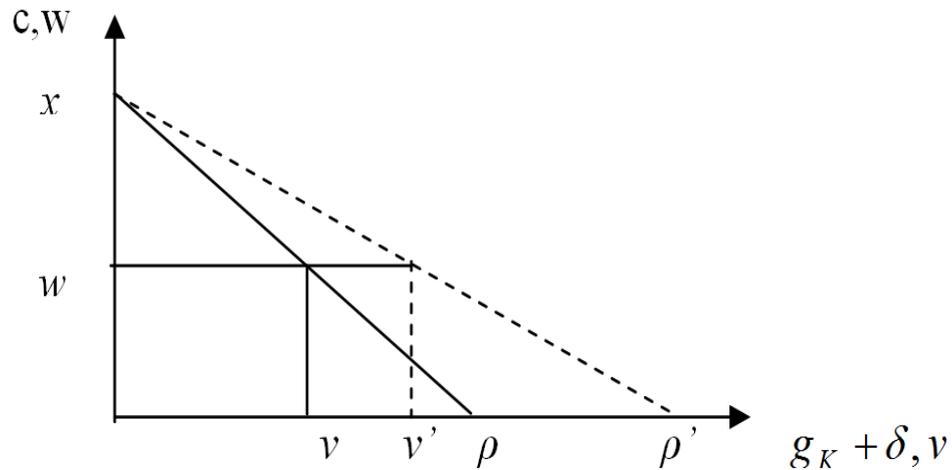
Onde:

$$\gamma = g_x \quad (2.3.3)$$

Em que γ mostra que todas as técnicas estão crescendo na mesma proporção.

- Se o mesmo grau de progresso técnico no capital ocorrer em todas as técnicas haverá um progresso técnico puramente poupador de capital ($g_x = 0$), conhecido como Solow-Neutro. O progresso técnico Solow-neutro vai ocorrer sempre que houver aumento na produtividade do capital e a produtividade do trabalho permanecer constante. Esta forma de progresso técnico é representada na Figura 6.

Figura 6 – Representação do progresso técnico Solow-Neutro.



Fonte: Elaborado pela autora com base em FOLEY, D.; MICHL, T. R. Growth and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

No caso do progresso técnico ser Solow-Neutro a taxa de crescimento da produtividade do capital denota-se:

$$g_{\rho} = \frac{\rho+1-\rho}{\rho} \quad (2.3.4)$$

Neste caso o progresso técnico puramente poupador de capital toma a forma:

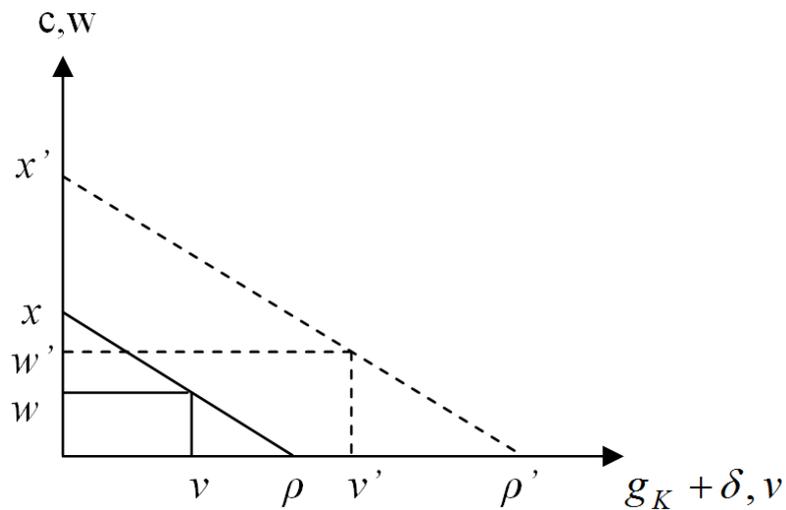
$$X' = F'[(1 + \chi)K, N] \quad (2.3.5)$$

Onde:

$$\chi = g_{\rho} \quad (2.3.6)$$

- Se a relação capital-trabalho for constante e $\gamma = \chi$ tem-se um progresso técnico Hicks-Neutro. O progresso técnico Hicks-Neutro é representado na Figura 7.

Figura 7 – Representação do progresso técnico Hicks-Neutro.



Fonte: Elaborado pela autora com base em FOLEY, D.; MICHL, T. R. Growth and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

A equação que confere o progresso técnico poupador de insumos é:

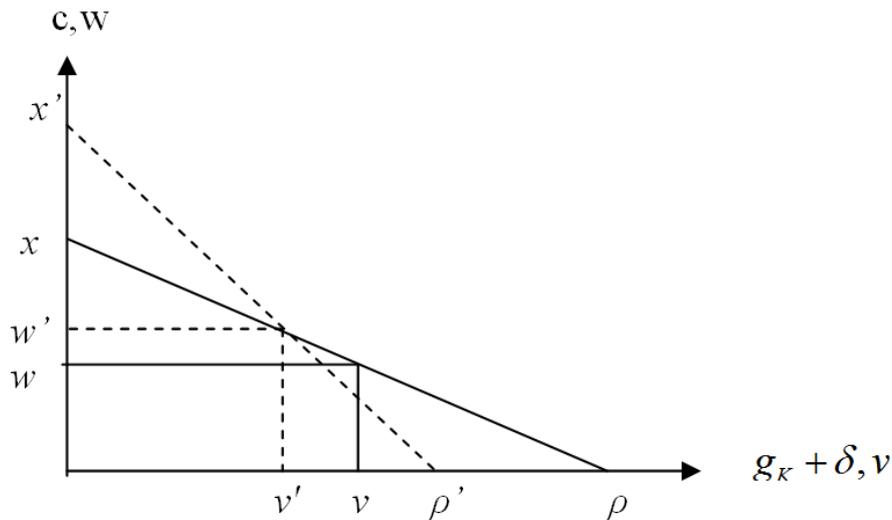
$$X' = F[(1 + \chi)K, (1 + \gamma)N] \quad (2.3.7)$$

Em que:

$$\chi = \gamma \quad (2.3.8)$$

O conjunto de técnicas de uma tecnologia experimenta o mesmo grau de mudança técnica. Neste caso $\gamma = g_x$ e $\chi = g_\rho$, mas se as técnicas experimentam diferentes graus de progresso técnico então $\gamma \neq g_x$ e $\chi \neq g_\rho$. Posto isto, um terceiro sistema de classificação, usualmente denominado progresso técnico Marx-viesado, vai ocorrer sempre que a produtividade do trabalho aumentar e a produtividade do capital diminuir como visto na Figura 8.

Figura 8 – Representação do progresso técnico Marx-viesado



Fonte: Elaborado pela autora com base em FOLEY, D.; MICHL, T. R. *Growth and Distribution*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.

Marquetti e Porsse (2014) apontam que o progresso técnico viesado no sentido de Marx podem resultar em cinco tendências de longo prazo, se houver:

- i) aumento da produtividade do trabalho, redução da produtividade do capital, crescimento da intensidade de capital e queda da taxa de lucro;
- ii) estabilidade relativa da participação correspondente aos salários;
- iii) aumento dos salários reais;
- iv) redução da taxa de acumulação, e
- v) aumento da produção e do emprego.

Segundo Pichardo (2015) para uma determinada distribuição de renda o progresso técnico do tipo Marx-viesado nem sempre irá gerar aumento da rentabilidade. Marquetti e Porsse (2014) argumentam que a taxa de lucro é determinada pela técnica utilizada e pela distribuição do rendimento. A distribuição da renda afeta as decisões de poupança e de investimento, visto que a taxa de lucro influencia a taxa de acumulação de capital e a técnica escolhida. A técnica será escolhida se a taxa de lucro esperada ao salário vigente for maior que a taxa de lucro atual. Após escolher a técnica a acumulação de capital irá resultar no crescimento da produção e do emprego.

2.4 A ABORDAGEM DE HICKS-KENNEDY

Diante das mudanças no ambiente econômico e progressivas pressões por inovação, o progresso técnico incorporado na economia ganha ênfase. Desde as primeiras discussões, percebe-se a necessidade de distinguir se as inovações eram autônomas ou induzidas. A ideia geral é que o viés da inovação é determinado por forças do próprio sistema econômico podendo induzir a um progresso técnico adaptado para maximizar os lucros. Com o intuito de sistematizar esta concepção foi realizada uma revisão de literatura sobre o progresso técnico induzido.

Ruttan (1997) apontou a existência de três grandes tradições que buscam explicar como as mudanças no ambiente econômico impactam na direção do progresso técnico. A primeira tradição surge no início dos anos 1960 e emerge das ideias voltadas para as implicações das mudanças na demanda e no estímulo do conhecimento e da tecnologia. Esta tradição, puxada pela demanda, foi liderada por Hicks (1932) que conduziu a ideia de que as invenções eram dirigidas para economizar o uso do fator de produção que se tornou relativamente mais caro. A segunda tradição, conhecida como a versão macroeconômica ou teoria do crescimento, surge no início dos anos 1970. Emerge da discussão sobre as razões da aparente estabilidade dos fatores na presença do rápido aumento dos níveis salariais. O surgimento da terceira tradição, no final dos anos 1970 e início dos anos 1980, volta a sua atenção para modelos evolutivos inspirados pelo renascimento do interesse em trabalhos de Schumpeter e na dinâmica de desenvolvimento econômico. De acordo com Hayami e Ruttan (1977) o progresso técnico é uma resposta dinâmica à dotação dos recursos de um país quando este se encontra na fase de início do processo de modernização e desenvolvimento econômico.

O livro *“The Theory of Wages”* de Hicks (1932) prenuncia uma série de desenvolvimentos posteriores à sua publicação, incluindo algumas contribuições importantes. Hicks (1932) esclarece quais fatores que podem induzir o surgimento das invenções. Reitera que uma mudança nos preços relativos dos fatores de produção é em si um incentivo à inovação. Se o progresso técnico é endógeno ao sistema, a acumulação tende a crescer mais rápido que a oferta de trabalho e o salário tende a se elevar. Isto induziria o capitalista a

inovar tecnologicamente em busca de técnicas poupadoras de trabalho. Hicks (1932) faz uma distinção entre o crescimento econômico resultante de um aumento da oferta de um fator (trabalho e capital) e o progresso econômico resultante de invenções e melhorias. Na discussão do primeiro, questiona-se qual seria o efeito sobre os rendimentos reais de um aumento no fornecimento de um determinado fator. No segundo, considera-se que o progresso técnico é a principal forma de crescimento econômico. As invenções são divididas em três categorias, de acordo com o seu efeito sobre a razão entre o produto marginal do capital e do trabalho:

- Poupadoras de trabalho: aumento do produto marginal do capital mais que do trabalho;
- Poupadoras de capital: aumento do produto marginal do trabalho mais do que o capital;
- Neutro: a invenção afeta a taxa do produto marginal do capital e do trabalho na mesma proporção.

Salter (1960) critica a teoria de Hicks, argumentando que o aumento da produtividade do trabalho é generalizado porque o progresso técnico e a acumulação de capital afetam a produção em todos os setores da economia. Segundo ele ocorrem melhorias constantes nos métodos, equipamentos e materiais usados em cada indústria. O progresso técnico tende a aumentar a produção por máquina e por unidade de materiais, por favorecer indiretamente a produção por homem. O progresso técnico diminuirá o custo por equipamento em relação ao custo do trabalho levando a tendência do capital substituto para o trabalho. Salter (1960) reforça a importância do progresso técnico no aumento dos rendimentos de modo que estes incentivam a expansão da produtividade do trabalho em demais lugares. Ademais pode provocar uma variação da taxa de investimento, que determina a velocidade com que o avanço técnico pode ser incorporado em novos e melhores equipamentos, e, portanto, a taxa de aumento da produtividade do trabalho. Por outro lado, Salter (1960) está ciente de que outros fatores desempenham um papel importante na explicação do avanço técnico e reconhece que o investimento é uma condição necessária, mas não uma condição suficiente e que a taxa de inovação não pode determinar exatamente o volume de investimento. O que o Salter (1960) pretendia dizer é que se o custo do trabalho aumenta, qualquer invenção que reduza o custo total médio é bem vinda. O interesse do empresário não é reduzir especificamente os custos oriundos do trabalho, mas sim reduzir seus custos totais médios,

independente se isso é alcançado poupando trabalho ou capital. Em sua visão, não há razão para reservar atenção exclusiva sobre o progresso técnico poupador de trabalho, a menos que o acesso ao conhecimento da tecnologia intensiva em capital seja mais fácil do que a intensiva em trabalho.

No contexto da teoria contemporânea do crescimento econômico, várias representações do progresso técnico endógeno apareceram na literatura. A função de progresso técnico de Kaldor (1957) foi apresentada como uma alternativa à função de produção agregada. Postula que tanto a participação nos lucros quanto a taxa de lucro são constantes e conclui, embora não demonstre, que uma economia capitalista converge para o progresso técnico do tipo Harrod-neutro com distribuição de renda constante. Estas formulações foram importantes contribuições para a evolução do pensamento sobre o progresso técnico, dentre eles para o modelo de Kennedy (1964).

A hipótese de progresso técnico induzido foi adaptada por Kennedy (1964) referindo-se a ela originalmente como a “função de possibilidades de inovação”. A partir do modelo de Kennedy foi possível encontrar uma explicação para a constância das participações relativas sem a necessidade de assumir que a função de produção tenha como forma de representação o progresso técnico Harrod-neutro. Para Hayami e Ruttan (1993) a principal contribuição do modelo de Kennedy é a solução do enigma sobre a estabilidade na renda da remuneração dos fatores capital e trabalho a despeito da substituição do trabalho por capital. Pichardo (2015) destaca que a partir função de progresso técnico induzido foi possível formalizar a ideia crucial de maximização da função de redução dos custos por meio da inovação no contexto da distribuição de renda constante. Isto significa dizer que é razoável supor que a empresário vai escolher a mudança técnica que maximiza a redução do custo unitário, ou seja, minimiza os custos.

A teoria do progresso técnico induzido de Kennedy (1964) tem sido apontada como um dos estudos relevantes no debate sobre crescimento econômico. O modelo de Kennedy supõe que existe uma firma representativa que maximiza os lucros sobre a hipótese de concorrência perfeita. Se os empresários desejam produzir mais sempre haverá capital e trabalho aos seus respectivos preços num mercado competitivo. Por simplicidade existe apenas um produto e dois fatores: capital e trabalho. O custo total do trabalho para produzir uma unidade de produto é L e o total de capital é C . Denomina-se λ a parcela do custo do trabalho no custo total:

$$\lambda = \frac{L}{L+C} \quad (2.4.1)$$

E a parcela do custo do capital no custo total denota-se γ :

$$\gamma = \frac{C}{L+C} \quad (2.4.2)$$

Kennedy (1964) assume dois fatores de produção, trabalho e capital, com os preços dos fatores constantes ($w = \bar{w}, v = \bar{v}$). A partir da decisão da sociedade de quanto consumir e de quanto investir, calcula-se a produtividade do trabalho, quantidade de trabalho necessária para produzir uma unidade de produto, e a produtividade do capital, quantidade de capital necessária para produzir uma unidade de produto.

De modo geral, uma melhoria técnica reduzirá a quantidade de trabalho requerido para produzir uma unidade de produto de certa proporção (g_x) e o montante de capital numa proporção (g_p). Para tanto, g_x e g_p precisam ser menores que 1, mas não há razão para serem estritamente positivos. Kennedy (1964) considera razoável supor que o capitalista escolherá, ou procurará, por melhorias que reduzam seu custo total por unidade na maior proporção. Com preço dos fatores constantes, é possível definir R como a função redução total do custo unitário por unidade de produção:

$$R = \lambda g_x + \gamma g_p \quad (2.4.3)$$

A equação 2.5.3 sugere que a escolha do empresário pela técnica, não será uma questão puramente tecnológica, mas sim influenciada pelos pesos econômicos de cada fator de produção λ (custo do trabalho) e γ (custo do capital). Kennedy (1964) estabelece que os pesos λ e γ não ficam apenas para a parte dos custos de um determinado fator nos custos totais, mas também para o compartilhamento de distribuição dos diferentes fatores. Se os custos do trabalho forem mais caro em relação ao custo do capital ($\lambda > \gamma$) o empreendedor irá buscar, *ceteris patibus*, mais inovação para poupar trabalho, e vice-versa. Na medida em que esta inovação diminuir a quantidade de trabalho requerido para produzir uma unidade de produto de certa porcentagem (g_x) a quantidade de capital aumenta numa proporção (g_p). Segundo Jones (1979, p. 211):

A ideia da formulação de Kennedy é que existe uma troca recíproca (*trade-off*) entre o aumento de capital e trabalho: isto é, a elevação na taxa de aumento de capital só pode ser alcançada por um decréscimo na taxa de aumento de trabalho e vice-versa. Mais ainda, taxas cada vez maiores de aumento de capital são crescentemente difíceis de ser alcançadas e proporcionalmente mais aumento de trabalho tem de ser sacrificado.

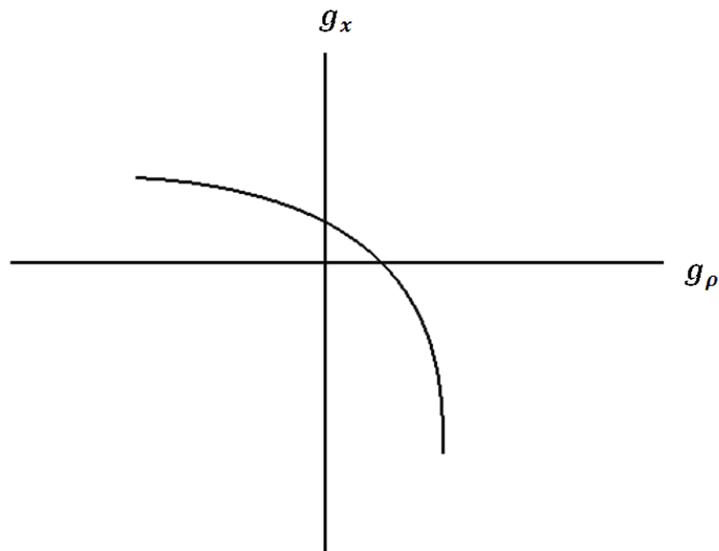
Kennedy (1964) representa esta hipótese por uma função de fronteira de possibilidades de inovação com a qual uma firma individual se depara. Esta função refere-se a uma restrição puramente tecnológica da forma:

$$g_x = f(g_\rho) \quad (2.4.4)$$

Que no equilíbrio, resulta em:

$$\frac{d_{g_x}}{d_{g_\rho}} = -\frac{\gamma}{\lambda} \quad (2.4.5)$$

Figura 9 – Função Fronteira de Possibilidades de Inovação



Fonte: Elaborado pela autora com base em Kennedy (1964).

A Figura 9 ilustra a função 2.4.4 e representa a fronteira de possibilidades de inovação. Os eixos horizontal e vertical medem a taxa de crescimento da produtividade do capital e do trabalho, respectivamente. A fronteira assegura uma restrição na escolha dos empresários quando se decide sobre qual inovação adotar. De acordo com Jones (1979) a fronteira de possibilidades de inovação é negativamente inclinada e côncava em relação à origem, pois garante que os empresários devem decidir entre a produtividade do capital ou do trabalho, não podendo optar por ambas. Esta condição é melhor visualizada nos movimentos

ao longo da curva, em que para se obter maiores taxas de g_x têm de sacrificar o aumento nas taxas de g_ρ . Pichardo (2015) nota que todas as alterações técnicas listadas na seção anterior, estão presentes na fronteira de possibilidades de inovação: Harrod-neutro ocorre em $g_\rho = 0$, Solow em $g_x = 0$, Hicks-neutro em $g_\rho = g_x$ e Marx-viesado em $g_\rho > 0, g_x < 0$.

Na formulação de Kennedy, tem-se que quanto maior a proporção dos custos do trabalho no custo total maior será o investimento em inovação por parte do empresário com o objetivo de poupar trabalho. Portanto, o problema do empresário ou da economia como um todo é maximizar a função redução proporcional dos custos, $R = \lambda g_x + \gamma g_\rho$, sujeito à restrição da fronteira de possibilidades de inovação, $g_x = f(g_\rho)$. Para interpretar este problema Kennedy (1964) sugere necessária a discussão das principais características da função de possibilidades de inovação. Em primeiro lugar deve-se esperar que a primeira derivada da restrição do capitalista seja negativa. Quanto maior for a redução do trabalho necessário para produzir uma unidade de produto, menor será a possível redução do capital necessário. Em outras palavras, melhorias de redução de trabalho e na redução de capital são competitivas. Em segundo lugar, pode-se argumentar que a derivada de segunda ordem da restrição (R) também é menor que zero, $dg_x/dg_\rho < 0$, o que sugere que se g_x se aproximar de 1, seu limite superior, aumentos muito grandes de capital seriam necessários. Da mesma forma, se g_ρ se aproximar de 1, aumentos muito grandes de trabalho seriam requeridos. Este valor pode ser considerado como um indicador fundamental do viés tecnológico nas possibilidades de inovação.

Pode-se dizer que há um viés tecnológico poupador de trabalho se o valor de equilíbrio do custo do capital (γ) for maior do que custo de trabalho (λ). Se a parcela dos custos de capital (γ) nos custos totais estiver reduzindo g_x , vai deixar de assegurar a constância nas participações do capital e trabalho na produção de um período para o outro. Então, ocorre uma queda no custo unitário de produção dos bens de capital devido o próprio progresso tecnológico nesse setor. Essa queda proporcional no custo unitário de produção de bens de capital é chamada de “ s ”. A condição de equilíbrio nos pesos custo de capital (γ) e custo do trabalho (λ) será:

$$g_x = g_\rho + s \quad (2.4.6)$$

O sistema admite uma solução particularmente simples em que um único produto pode ser usado como bem de capital e de consumo. Uma queda proporcional do custo total médio de bens de capital (s) será igual à queda proporcional no custo unitário de produção (R), onde:

$$R = \lambda g_x + \gamma(g_\rho + s) \quad (2.4.7)$$

De modo que $g_\rho = 0$, ou seja, capital constante. Sempre que esse resultado ocorrer o equilíbrio da distribuição de longo prazo, será determinado pela primeira derivada da fronteira de possibilidades de inovação quando $g_\rho = 0$. Em outras palavras, a produtividade do trabalho vai aumentar e produtividade do capital permanece constante (progresso técnico Harrod-Neutro).

A publicação do trabalho de Kennedy (1964) gerou uma crítica neoclássica liderada por Samuelson (1965), que afirma que não há possibilidades de que a inovação seja viesada no sentido de poupar trabalho. Segundo o autor o que acontece no trabalho de Kennedy é uma dedução de um estado assintótico de mudança técnica do tipo Hicks neutro. Em resposta a isso Kennedy (1966) publicou uma nota no intuito de explicar que as duas abordagens tem suas forças e fraquezas. A fraqueza de Samuelson é visualizar a função produção como uma questão pertinente, e a fraqueza de Kennedy é não chegar a uma explicação endógena para as mudanças nos preços dos fatores no curto prazo por meio da fronteira de possibilidades de inovação. Em suma, Kennedy especifica uma função de redução de custo unitário, que, segundo Pichardo (2015) inclui taxas de rendimento e as taxas de crescimento das produtividades do trabalho e do capital. Esta função é maximizada e sujeita a uma função de possibilidades de inovação, que relaciona as taxas de crescimento negativas das produtividades do capital e do trabalho.

2.5 A ABORDAGEM DE DUMÉNIL-LEVY

O debate científico sobre progresso técnico induzido que ocorreu nos anos 1960 gerou novas ideias por parte de autores que procuravam aplicar a proposta de Kennedy (1964) sob a mesma perspectiva, mas com algumas reformulações. Dentre eles Foley (2003), Kurz (2010), Mohun (2009), e Duménil e Levy (2003).

Duménil e Levy (2009) resgatam a discussão sobre progresso técnico induzido e consideram junto com a hipótese marxista de inovação um conjunto estocástico de técnicas disponíveis na economia. O debate parte do pressuposto que os empresários tendem a substituir “trabalho vivo” por “trabalho morto” à medida que o custo do salário aumenta em relação aos custos totais. A hipótese do progresso induzido de Duménil e Levy (2009) une a distribuição funcional e o viés macroeconômico de progresso técnico assumindo que a distribuição influencia o caminho do progresso técnico dado o critério da rentabilidade. Seguindo esta concepção as taxas de crescimento da produtividade do trabalho e do capital dependem das participações relativas do custo de capital e de trabalho sobre os custos totais. Logo, existe um *link* pertinente entre a distribuição da renda com o crescimento das produtividades na economia.

Central para a análise clássica-marxista a ideia de progresso técnico de Duménil e Levy (2009) sugere que os empresários devem escolher as novas técnicas em função da sua rentabilidade. A taxa de lucro será determinada com base na técnica mais adequada e não a partir da função de produção, conforme sugere os modelos neoclássicos. As técnicas serão selecionadas se as taxas de lucro que elas produzem, aos preços vigentes, forem maiores do que as taxas de lucro em vigor. Este processo é repetido período após período num modelo dinâmico estocástico. Denominou-se “*a evolutionary marxian model of technical change*” a versão estocástica do modelo de Kennedy elaborada por Duménil e Levy (2009) ajustando-o aos dados da economia norte-americana. Este modelo interpreta a análise clássica marxista de progresso técnico em uma estrutura semelhante aos modelos evolutivos. Por utilizar este modelo, conseguiram prever, com um grau elevado de certeza, as tendências históricas do capitalismo nos Estados Unidos sob a hipótese principal de que o progresso técnico induzido é o motor da inovação.

De acordo com Duménil (2011), uma das características do pensamento marxista é a capacidade de ver o sistema capitalista organizado na forma de exploração do trabalho. Daí a hipótese marxista de que os custos do trabalho elevados criam incentivos para os capitalistas desenvolverem tecnologias, num esforço de reduzir custos. Neste caso, a taxa de salário é um importante parâmetro. Para Foley (2003) aumentos nos salários reais são determinados por fatores relacionados ao viés do progresso técnico (intensivo em capital ou intensivo em trabalho). Se os salários reais aumentam a produtividade do trabalho deve aumentar na mesma

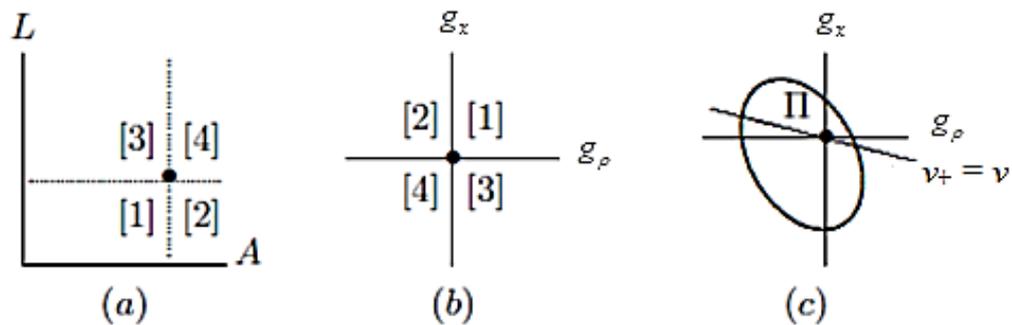
proporção para manter a participação dos salários constante, assim os capitalistas precisam de menos trabalhadores para produzir.

No modelo de Duménil e Levy (2009) o progresso técnico depende da escolha da técnica que o empresário irá adotar com vistas a reduzir os custos relativos aos preços vigentes. A análise marxista pressupõe que as inovações são escolhidas a partir de uma comparação entre o custo do equipamento e o custo do trabalho poupado. A comparação é feita levando-se em consideração o tempo de trabalho incorporado numa máquina pelo o tempo de trabalho poupado como um resultado da utilização de capital. Desse modo, os empresários vão pagar apenas o valor da força de trabalho empregada, sendo que esta pode ser divergente do valor do salário real. Duménil e Levy (2009) argumentam que o uso de máquinas para a finalidade exclusiva de baratear o produto é limitado pela exigência de que menos trabalho deve ser empregado na produção. Para o empresário, no entanto, há um limite para a sua utilização. O limite para a utilização de uma máquina é, por conseguinte, fixado pela diferença entre o valor da máquina e o valor da força de trabalho que foi substituído. O valor das máquinas sofre grandes variações, enquanto que a diferença entre a quantidade de trabalho necessário para produzir a máquina e a quantidade total de trabalho substituído mantém-se constante. Assim, independente do quanto mais produtivo uma técnica de produção possa ser, esta somente será adotada se a taxa de lucro aumentar.

O modelo de progresso técnico induzido de Duménil e Levy (2009) define como técnica o par dos coeficientes técnicos de capital e trabalho (A, L) . Tal como em Kennedy (1964) os autores também consideram os coeficientes técnicos como sendo os inversos da produtividade do capital e do trabalho $(\rho = 1/A, x = 1/L)$. No painel (a) da Figura 10, os eixos horizontal e vertical medem a quantidade de capital e a quantidade de trabalho utilizado como entradas, respectivamente. A técnica existente (A, L) é representada pelo círculo preto. Em cada período uma nova técnica (A_+, L_+) aparece e define novos pares de coeficientes técnicos.

$$A_+ = \frac{A}{1 + g_\rho}, \quad L_+ = \frac{L}{1 + g_x} \quad (2.5.1)$$

Figura 10 - Modelo evolucionista clássico-marxista de mudança técnica.



Fonte: DUMÉNIL, G.; LÉVY, D. The classical-marxian evolutionary model of technical change. Application to historical tendencies. The Classical Approach to Technical Change and Capital Accumulation, Nova York, 2009.

A nova técnica pode ser comparada com a técnica existente a partir da taxa de crescimento da produtividade do trabalho e do capital (g_x, g_ρ), respectivamente. Esta localizada no painel (c) da Figura 10, e cai no interior de qualquer uma das quatro regiões de [1] a [4]. Desse modo, o progresso técnico de Dumenil e Levy (2009) pode se decomposto em duas etapas distintas: inovação e seleção. A primeira sugere que o critério para adotar uma nova técnica é que esta pertença ao “conjunto inovação”. Na segunda etapa o critério utilizado na decisão de adotar uma nova técnica é saber se ela produz uma taxa de lucro maior a preços correntes (incluindo a taxa de salário). Se a nova técnica se enquadra região [1] da Figura 10 (b) e economize capital e trabalho, independente de preços será adotada. Se ela cai na região [4], o aumento da quantidade de capital e trabalho seria necessária, e a nova técnica é rejeitada. Se a nova técnica cai em regiões [2] ou [3] um cálculo deve ser feito a fim de comparar as taxas de lucro da técnica existente e da nova técnica. Chama-se “fronteira de seleção” a linha que separa o que foi adotado ($v_+ > v$) a partir das técnicas rejeitadas ($v_+ < v$). Esta linha representa os pontos que satisfazem a condição $v_+ = v$. Como mostrado no painel (c) da Figura 10, a fronteira de seleção é uma linha inclinada para baixo passando pela origem. O subconjunto II do conjunto de inovação é denotado como rentável, e fica acima desta linha. Somente nesta região as novas técnicas são selecionadas. Pichardo (2015) afirma que a importância da fronteira de viabilidade de Dumenil e Levy está em dividir as técnicas disponíveis entre aquelas que aumentam a taxa de lucro e aquelas que a reduzem.

A taxa de lucro existente (v) e a taxa de lucro para uma nova técnica (v_+) podem ser calculadas a partir dos coeficientes técnicos e das taxas de crescimento da produtividade dos fatores, dada uma taxa de salário (w). O custo do trabalho é a única variável exógena. A equação da “fronteira seleção” pode ser determinada como se segue:

$$v = \frac{1 - Lw}{A} = \frac{1}{A} - \frac{Lw}{A} = \frac{\pi}{A} \quad (2.5.2)$$

A nova taxa de lucro será:

$$v_+ = \frac{1 - L_+ w}{A_+} = \frac{1 - \frac{L}{(1 + g_x)} w}{\frac{A}{(1 + g_\rho)}} = \frac{(g_x + \pi)(1 + g_\rho)}{(1 + g_x)A} \quad (2.5.3)$$

Se $Lw = (1 - \pi)$, então a fronteira de viabilidade é dada pelo conjunto inovação que satisfazer $v_+ - v = 0$:

$$v_+ - v = \frac{(g_x + \pi)(1 + g_\rho)}{(1 + g_x)A} - \frac{\pi}{A} = 0 \quad (2.5.4)$$

Logo, a fronteira viabilidade pode ser simplificada no plano (g_ρ, g_x) :

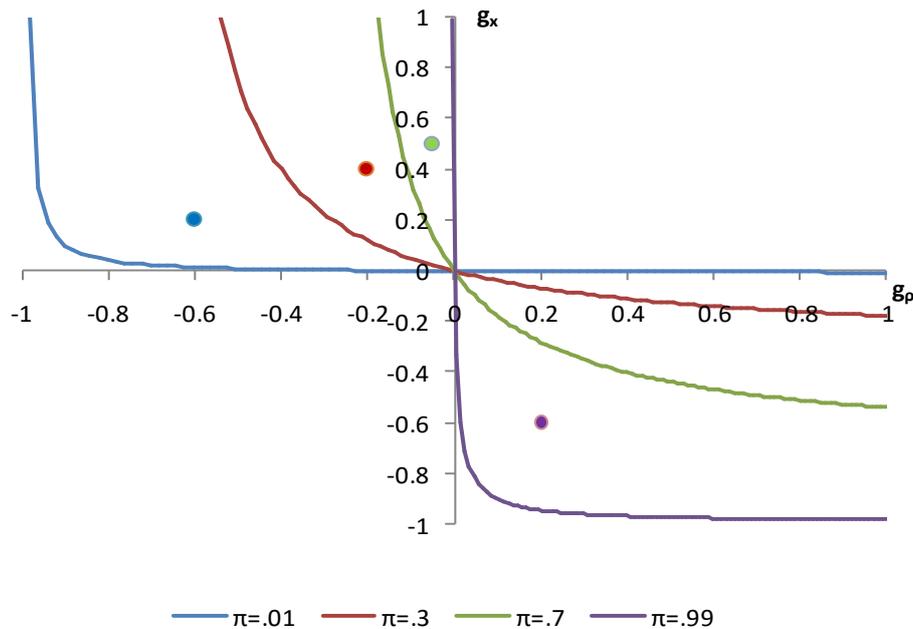
$$g_x = -\frac{\pi g_\rho}{(1 - \pi) + g_\rho} \quad (2.5.5)$$

De modo geral, começando com uma técnica, A_0 ; L_0 , pode-se derivar uma sequência de técnicas, A_t ; L_t (com $t = 1, 2, 3, \dots$), a partir de uma dada sequência de custos de trabalho em peso (com $t = 0, 1, 2, 3, \dots$). A trajetória do progresso técnico pode ser encontrada a partir de uma sequência de técnicas. Formalmente, um modelo dinâmico estocástico foi definido. Com simplificação, Dumenil e Levy (2003) afirmam que uma pequena inovação pode definir uma fronteira de viabilidade linear. A importância do nível de participação nos lucros (π) na escolha da técnica pode ser visualizada por meio da fronteira de viabilidade dada pelo conjunto de taxas de lucros que satisfazer $(g_\rho, g_x = 0)$.

Dumenil e Levy (2003) descrevem um modelo dinâmico que utiliza as taxas de crescimento médias das produtividades no conjunto viável ao substituir as variáveis estocásticas (g_ρ, g_x) por seus valores médios $(\bar{g}_\rho, \bar{g}_x)$. Segundo os autores um aumento no

nível de participação dos lucros (π) gira a fronteira de viabilidade no sentido anti-horário. Consequentemente g_p é uma função decrescente e g_x é uma função crescente de $w[\pi]$.

Figura 11 – Fronteira de viabilidade Dumenil e Levy



Fonte: PICHARDO, G. M. Theoretical Technical Change Patterns and Technical Change during the Neoliberal Era (1980-2013). Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

Os pontos da fronteira de viabilidade de Dumenil e Levy podem ser visualizados na Figura 11 e correspondem a técnicas alternativas viáveis em cada nível da participação nos lucros (π). Pichardo (2015) destaca que a probabilidade de ocorrer progresso técnico do tipo Marx-viesado (taxa de crescimento da produtividade do trabalho positiva e taxa de crescimento da produtividade do capital negativa) evoluiu conforme com a participação nos lucros. Em casos extremos, quando a participação nos lucros é insignificante (1 por cento) o progresso técnico Marx-viesado é mais provável de ocorrer. A interação entre a taxa de crescimento da produtividade do capital e do trabalho mostra que se a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) é positiva e a taxa de crescimento da produtividade do trabalho (g_x) é negativa a sua probabilidade pode aumentar, como é ilustrado por uma participação nos lucros de 99 por cento.

Torna-se claro que embora a taxa de crescimento da produtividade do trabalho é uma função decrescente da participação nos lucros, a taxa de crescimento da produtividade do capital é crescente. De modo geral, todas as técnicas que estiverem disponíveis no quadrante positivo serão viáveis em qualquer nível da participação nos lucros, enquanto todas as técnicas no quadrante negativo não.

No Capítulo 3, a seguir, serão apresentados os trabalhos empíricos sobre o progresso técnico Marx-viesado que contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE O PROGRESSO TÉCNICO MARX-VIESADO

O progresso técnico Marx-viesado é o padrão caracterizado pelo aumento da produtividade do trabalho e queda na produtividade de capital. É chamado Marx-viesado, por ter sido o primeiro autor a chamar a atenção para esta forma de progresso técnico. Mostra-se um valioso instrumento para interpretar os caminhos do crescimento econômico em economias capitalistas. Muitos economistas desenvolveram, nas últimas décadas, estudos empíricos coerentes com o fenômeno de longo prazo de progresso técnico Marx-viesado. As concepções observadas no quadro teórico se distinguem quanto à interação entre produção, progresso técnico e distribuição. As contribuições prévias da literatura sobre o assunto apresentam diferentes pontos de vista quanto à sua conclusão. O debate é conduzido por modelos que buscam mostrar como se comporta o progresso técnico e quais fatores levam ao crescimento econômico ao longo do tempo.

O padrão de longo prazo do progresso técnico Marx-viesado pode ser explicado por duas hipóteses alternativas. A primeira é baseada na visão clássica-marxiana, que argumenta que a relação inversa entre a produtividade do capital e do trabalho reflete um viés no progresso técnico, que, por sua vez, é causado pela estrutura de incentivos inerentes a uma economia capitalista, impulsionado pela rentabilidade. A teoria clássica é oriunda da análise das variáveis de distribuição de renda e da produtividade do trabalho, e contundente com o argumento de que a taxa de salário real pode exceder a produtividade do trabalho. A segunda hipótese baseia-se no modelo de crescimento neoclássico, que explica este padrão como o resultado de uma função de produção estável. De acordo com a teoria neoclássica a evolução das variáveis ao longo do tempo implica na igualdade entre a taxa de salário real e a produtividade do trabalho. Os movimentos ao longo do tempo podem explicar a relação inversa entre capital e produtividade do trabalho.

Este capítulo está organizado em duas seções. Na primeira, serão mencionados os estudos empíricos derivados da teoria clássica do progresso técnico Marx-viesado com as suas devidas adaptações. Identificam-se ainda as metodologias utilizadas nos estudos empíricos que servirão como referência para a análise do capítulo seguinte. Na segunda seção apresentam-se os trabalhos que utilizaram a função de produção como ferramenta de análise

do progresso técnico induzido. Em paralelo, discriminam-se os principais mecanismos de vinculação do progresso técnico Marx-viesado com as duas visões, clássica e neoclássica.

3.1 A TEORIA CLÁSSICA DE PROGRESSO TÉCNICO E A RELAÇÃO DISTRIBUIÇÃO-CRESCIMENTO

O impacto das taxas de lucro sobre o investimento e a acumulação de capital desempenha um papel crucial na determinação da taxa de crescimento de uma economia. O caminho de uma economia capitalista pode ser determinado pelas empresas que calculam a taxa de lucro de cada técnica de produção e escolhem a técnica mais rentável, dado o nível de salário real e a tecnologia existente. A fim de ganhar as taxas de lucro mais elevadas, as empresas tentam introduzir alterações técnicas que reduzem os custos de produção no nível atual dos salários reais e que levam a lucros elevados. Estas alterações técnicas são provocadas pela crescente acumulação de capital. No entanto, uma vez que a inovação técnica se torna generalizada, os preços são impulsionados para baixo e as taxas de lucro diminuem. A acumulação de capital e a necessidade de inovar, que conduz o aumento das taxas de lucro, causam uma queda na taxa de lucro. A combinação do aumento da parcela salarial com uma quota de capital diminuindo produz uma queda na taxa de lucro que é seguido pela diminuição das taxas de crescimento econômico.

O *trade-off*¹ entre salários e lucros, existente na economia capitalista, pode ser utilizado como uma ferramenta para explicar a análise do padrão do progresso técnico no crescimento econômico. Existem indícios em Foley e Michl (1999) que uma elevada parcela dos custos trabalhistas nos custos totais pode induzir a economia do trabalho para o progresso técnico. A teoria clássica afirma que os capitalistas tendem a defender as suas taxas de lucro e adotar novas técnicas viesadas a economizar trabalho.

O progresso técnico eleva-se com a adição de novas técnicas de produção à tecnologia ao longo do tempo. Um dos fatos estilizados sobre o crescimento econômico é que o

¹ Expressão que implica um conflito de escolha. Ato de escolher uma coisa em detrimento de outra.

progresso técnico não é neutro, no sentido de melhorar simetricamente a produtividade do trabalho e do capital. Como lembram os autores, para um grande corte transversal de países capitalistas e em períodos longos de tempo, o progresso técnico é inclinado para o trabalho. Isto é, enquanto a produtividade do trabalho cresce ao longo do tempo, a produtividade do capital estagna ou cai através do tempo. Este fato empírico corresponde à descrição de progresso técnico Marx-viesado.

Os modelos de crescimento de Duménil e Lévy e de Foley e Michl formalizam as tendências de longo prazo das economias capitalistas propostas por Marx. Para estes autores, em longos períodos as economias capitalistas desenvolvidas estão sujeitas ao progresso técnico Marx-viesado. Os modelos desenvolvidos por Foley e Michl (1999) e por Duménil e Lévy (2000) são muito semelhantes e pertencem ao grupo de modelos macroeconômicos agregados derivados das contas nacionais e da tradição clássica. Ambos assumem uma economia com duas classes (capitalistas e trabalhadores), que produz apenas um bem.

Duménil e Lévy (2000) têm chamado o progresso técnico com padrão Marx-viesado de "trajetórias *à la* Marx" e postulam teorias do salário real e da mudança técnica. Foley e Michl (1999) denominam este padrão como "um modelo clássico de crescimento com mudança técnica Marx-tendenciosa" e propõem que o salário real cresce à mesma taxa que a produtividade do trabalho e que tanto a produtividade do trabalho e a relação produto-capital (as variáveis técnicas) evoluem em determinadas taxas de crescimento.

Pichardo (2004) analisou as tendências da taxa de crescimento da produtividade do trabalho nas principais economias da América Latina (Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e México) e dos Estados Unidos durante o período de 1963-1998. No início dos anos 1980 estas economias entraram em uma desordem fortemente volátil e prolongada. Ocorreram quedas na produtividade do trabalho, nos salários reais e na taxa de crescimento do estoque de capital. Neste período as seis economias apresentaram taxas médias de crescimento da produtividade do trabalho positivas.

Depois de 1990, a divergência da produtividade do trabalho entre os países latino-americanos começaram a aparecer. Segundo Pichardo (2004), a produtividade do trabalho foi maior nos Estados Unidos do que nos cinco países latino-americanos, e entre esses países houve profundas diferenças na produtividade do trabalho. Entre os cinco países da América Latina, a Argentina alcançou um nível maior de produtividade do trabalho. A taxa de crescimento média da produtividade do trabalho de 1964-1980 é substancialmente maior do

que a taxa de crescimento em 1981-1998. Em termos do crescimento da produtividade do trabalho, o Chile pode ser caracterizado como o líder da América Latina, enquanto a Colômbia é o retardatário.

No início de 1980 as economias latino-americanas passaram a seguir o progresso técnico Marx-viesado e o objetivo de recuperação da taxa de lucro. Este período marca a ruptura do desempenho da maioria dos países selecionados. Conforme disposto por Pichardo (2004) a tendência de progresso técnico Marx-viesado esteve presente nos Estados Unidos entre 1963 e 1998. Neste, a produtividade do trabalho era inversamente relacionada com a produtividade do capital. Uma participação constante nos lucros combinada com uma queda da produtividade do capital implicou na diminuição da taxa de lucro ao longo do tempo.

Duménil e Levy (1995) mostram que os Estados Unidos estavam sujeitos a um progresso técnico Hicks-neutro entre 1920 e 1960, pois ambos, produtividade do trabalho e do capital, estavam crescendo enquanto que o salário real e a taxa de lucro também aumentavam. Acredita-se que a economia americana tenha entrado numa trajetória diferente após 1990 e experimentado aumentos da taxa de lucro e de crescimento econômico.

As economias da América Latina, segundo Pichardo (2004), sofreram profundas mudanças nas políticas econômicas no início de 1980. As reformas econômicas implementadas não melhoraram a capacidade de crescimento da região perfazendo acentuadas quedas na taxa de crescimento do capital social. Na Argentina e no Chile tanto o índice de produtividade do trabalho e quanto do capital cresceram neste período, caracterizando o progresso técnico do tipo Hicks-neutro. No Brasil e no México constatou-se o padrão de progresso técnico Harrod-neutro quando a produtividade do trabalho cresceu enquanto a produtividade do capital manteve-se praticamente constante. A Colômbia foi o único país latino-americano que experimentou progresso técnico Marx-viesado, de modo que a produtividade do trabalho cresceu, enquanto a produtividade do capital diminuiu.

Pichardo (2007) afirma que a formalização das ideias de Foley e Michl e de Duménil e Levy sobre modelos de crescimento econômico representam uma poderosa abordagem para explicar as tendências econômicas históricas e atuais. Estes modelos de crescimento foram construídos com base em identidades das contas nacionais e quando aplicados a dados empíricos podem identificar tendências estruturais de longo prazo e pontos de interrupção em economias específicas.

Um trabalho acerca da perspectiva clássica do desenvolvimento econômico é de Marquetti (2004) que segue uma longa tradição entre os economistas que vê o progresso técnico na produção capitalista expresso de uma forma viesada, de modo a economizar o insumo relativamente caro. O autor avalia econometricamente a hipótese de que o aumento do salário contribuiu para o surgimento de tecnologias poupadoras de trabalho. A relação empírica entre o salário real e a produtividade do trabalho é analisada em duas etapas. A primeira investiga se produtividade do trabalho aumenta a um ritmo semelhante ao dos salários reais, e segunda, analisa as relações causais entre os salários reais e a produtividade do trabalho.

Com base nos dados históricos dos Estados Unidos, Marquetti (2004) buscou averiguar a existência de uma relação de longo prazo entre salário real e a produtividade do trabalho. O método proposto é o teste de causalidade de Granger para análise de cointegração. A hipótese nula do teste é de que salário não Granger causa tecnologias poupadoras de trabalho. Com um grau elevado de confiança o autor rejeita essa assertiva, concluindo que aumentos de salários reais induziram um progresso técnico poupadora de trabalho. Há, portanto um movimento unidirecional de causalidade entre salários reais e produtividade do trabalho para a economia americana no período entre 1960 e 2001. Isto é explicado pelo fato de que os capitalistas tendem a adotar novas técnicas para defenderem suas taxas de lucro. Este resultado é consistente com uma longa tradição entre os economistas que acreditam que o progresso técnico é induzido pela busca na redução dos insumos de alto custo.

Marquetti (2004) investigou a evolução do trabalho e da produtividade do capital para seis países desenvolvidos (Estados Unidos, Grã-Bretanha, Holanda, Alemanha, França e Japão) entre 1820 e 1992 por meio da relação distribuição-crescimento. O autor constatou que progresso técnico predominante foi o padrão Marx-viesado sendo que o Japão foi o único país que apresentou um padrão Marx-viesado em todo o período. Outro fato relevante foi a constatação da queda da taxa de lucro para o período analisado. Isto reforça a hipótese marxista de taxa de lucro declinante dada pela retração da produtividade do trabalho ao salário real vigente. Foram identificadas três fases de uma inovação técnica, sendo que a primeira e a terceira fase seguiram o padrão Marx-viesado. Os dados mostram ainda a existência de correlação negativa entre a produtividade do capital e da produtividade do trabalho no curso do desenvolvimento econômico.

A crítica neoclássica liderada por Samuelson (1965) afirmava que não há possibilidades de que a inovação seja viesada no sentido de poupar trabalho, de modo que esta abordagem não é capaz de proporcionar uma análise coerente para analisar a produção e a distribuição de renda. Ferretti (2008) resgata esta crítica no intuito de demonstrar que a perspectiva clássica é capaz de fornecer uma explicação coerente para dados da produtividade do trabalho e do capital alternativas a abordagem padrão fundada na função de produção neoclássica. O autor faz uso de uma fronteira salário real-taxa de lucro em busca de evidências empíricas para 18 economias industrializadas durante o período de 1961-2005, entre as quais 15 são países europeus. Os resultados encontrados são consistentes com os coletados por Marquetti (2004) e adicionam novas evidências sobre a evolução do progresso técnico no desenvolvimento dos países durante os últimos anos.

Ferretti (2008) encontra resultados consistentes com o progresso técnico Marx-viesado. Ainda revela que a produtividade do trabalho e a taxa de salário real tendem a aumentar à mesma taxa. Enquanto a taxa de depreciação e o estoque de capital por trabalhador aumentam, a relação capital por trabalhador tende a diminuir.

Menores taxas de lucro levam a redução da taxa de acumulação de capital. De acordo com Ferretti (2008) a análise de séries de tempo por meio da fronteira salário real-taxa lucro revelaram uma evolução desigual do progresso técnico. Conclui que há uma notável prevalência do progresso técnico Marx-viesado principalmente durante as fases caracterizadas pelo baixo nível de crescimento econômico.

A existência e a direção de causalidade de longo prazo entre os salários reais e a produtividade do trabalho também são examinadas em Souza (2014). Novas evidências consistentes com a teoria clássica são encontradas pelo autor, que analisa um painel de dados para as indústrias de economias desenvolvidas e em desenvolvimento. A partir da realização de testes de co-integração os resultados apontaram tendências estocásticas comuns entre a produtividade do trabalho e os salários reais. Outro fator analisado foi se as indústrias modernas dos países em desenvolvimento possuem viés da mudança tecnológica no sentido de inovar à medida que expandem para poupar trabalho. Evidências preliminares apontaram que os mecanismos de vinculação da produtividade do trabalho com os salários reais, no longo prazo, também estão presentes no setor de manufatura nos países em desenvolvimento.

François (2015) investiga a variação do progresso técnico em três sub-períodos que se estendem entre 1973-2008. Os resultados sugerem que houve vários tipos de progresso

técnico intervindo de diferentes ritmos na economia haitiana. Contatou-se progresso técnico com padrão Marx-viesado entre 1990 e 2008 em que a produtividade do trabalho diminuiu 31,3% e a produtividade de capital aumentou 20,7%. Estas mudanças nos fatores de produção foram desfavoráveis para o país que, durante o período de análise, sofreu profundas mudanças estruturais devido à dinâmica de desenvolvimento econômico em torno do uso de mão de obra. Nesse ponto, vale ressaltar que o principal efeito do declínio técnico registrado na economia haitiana é visualizado nas condições de vida da população.

Voana (2011) investigou a interação entre a taxa de lucro, a distribuição de renda e o progresso técnico e estrutural. Identificaram-se os padrões da taxa de lucro comuns aos países da Dinamarca, Finlândia e Itália, que estão mais expostos à concorrência internacional e tiveram diferentes dinâmicas da taxa de lucro em relação aos países maiores. Em especial, a ligação destes países com a mudança estrutural e a distribuição de renda. Analisou-se ainda o impacto da taxa de lucro agregada no desenvolvimento setorial e na distribuição de renda, não apenas no progresso técnico. Múltiplos setores foram analisados com base nos dados produzidos pelas OCDE e pelas contas nacionais dos países selecionados.

Os resultados de Voana (2011) mostram que a relação capital-renda, tanto em termos reais quanto nominais, ficou estável na Dinamarca. Na Finlândia manteve-se estável até meados de 1980, aumentou até o início da década de 1990 e diminuiu subsequentemente. Na Itália, declinou até o final de 1980, aumentou até meados de 1990, e manteve-se estável até 2001, quando começou a aumentar de forma acentuada. Tudo somado, o rendimento por unidade de capital e as margens de lucro contribuíram de forma semelhante às alterações nas taxas de lucro. Isto significa que quando o rendimento por unidade de capital aumentou uma maior fração dessa renda foi para os lucros.

Na Dinamarca a re-distribuição da renda do trabalho para o capital não aconteceu durante a década de 1970, enquanto que o lucro de 1980 foi distribuído do capital para o trabalho, de modo que a relação salário real-taxa de lucro na condução da taxa de lucro no geral foi mais suave. Por outro lado, na Finlândia, a re-distribuição da renda do trabalho para o capital foi o mais importante condutor da taxa de lucro líquido. Na Itália, a participação nos lucros da relação salário real-taxa de lucro tinha um peso menor na década de 1980 e maior importância nos anos 1990. A importância relativa da distribuição de renda varia de país para país e de período de tempo para período de tempo. No entanto, um padrão comum emerge uma vez incidindo sobre todo o período considerado. O grupo de países analisados mostrou

que a tendência da taxa de lucro tende a diminuir sem uma redistribuição substancial da renda. Quando a produtividade do capital é baixa ocorrem declínios na relação salário real-taxa de lucro levando a novos declínios da taxa de lucro. Episódios de queda da taxa de lucro aconteceram em países com o padrão de progresso técnico Marx-viesado.

Marquetti (2003) têm documentado quedas da produtividade de capital e aumentos da produtividade do trabalho (isto é, um aumento da relação capital-trabalho) tanto em economias desenvolvidas quanto em economias em desenvolvimento. A evidência empírica fornecida por Marquetti (2003) mostra que o progresso técnico Marx-viesado na forma de declínio da produtividade do capital e aumento da produtividade do trabalho parece ser o caminho inevitável para o desenvolvimento. Marquetti (2003) observou ainda que, embora o padrão de longo prazo da mudança técnica nas sociedades industrializadas é Marx-viesado, este é interrompido por períodos em que tanto a produtividade do trabalho quanto a produtividade do capital aumentam. Durante este período o padrão de progresso técnico observado é Hicks-neutro.

Felipe e Kumar (2010) utilizaram a relação salário real-taxa de lucro para examinar a direção do progresso técnico no setor de manufatura da Índia entre 1980-2007. Segundo os autores, a relação salário real-taxa de lucro é uma ferramenta flexível e consistente com modelos neoclássicos e não-neoclássicos. A programação verdadeira desta permite analisar o progresso técnico por meio das mudanças nos parâmetros da produtividade do trabalho e do capital, e nas recompensas do salário e do lucro (real). Observando o gráfico salário real-taxa de lucro os autores encontraram a direção do progresso técnico resultante de uma combinação de mudanças na produtividade do trabalho, na produtividade do capital e na relação capital-trabalho.

As evidências empíricas fornecidas por Felipe e Kumar (2010) mostram que a existência do padrão de progresso técnico Marx-viesado entre 1980 e 1990 e progresso técnico Hicks-neutro após os anos 2000. A experiência histórica sugere que o progresso técnico Hicks-neutro pode ser apenas uma fase temporária que é parte de uma longa tendência de longo prazo do padrão de progresso técnico Marx-viesado. O aspecto intrigante do padrão de progresso técnico da Índia, segundo Felipe e Kumar (2010), é que ele ainda não entrou numa fase de declínio da taxa de lucro, como parece ser a experiência histórica de muitos outros países. Na verdade, na maioria dos países, a rápida acumulação de capital levou a um declínio na taxa de lucro. Este não é o caso do setor de manufatura da Índia, onde a taxa de

lucro é de cerca de 45%, significativamente maior do que em 1980. Por outro lado, a taxa de salário real aumentou apenas marginalmente durante este período analisado, e a distribuição de renda tem a direção do capital, cuja ação dobrou durante 1980-2007. Em linhas gerais, Felipe e Kumar (2010) afirmam que o progresso técnico do setor de manufatura na Índia, ao longo do período 1980-2007, favoreceu o capital e a natureza do progresso técnico.

3.1.1 A CONDIÇÃO DE VIABILIDADE CLÁSSICA

A “condição de viabilidade clássica”, proposta por Foley e Michl (1999), surge com o intuito de discriminar a validade das duas teorias concorrentes sobre o progresso técnico. Esta estrutura alternativa diferencia-se da abordagem neoclássica tradicional por se abster do uso de uma função de produção agregada e utilizar a relação distribuição-crescimento para estudar a participação dos lucros na renda nacional. Analisa as implicações sobre as variáveis observáveis na economia. A condição de viabilidade clássica proposta por Foley e Michl é uma rerepresentação da fronteira de possibilidades de inovação de Kennedy (1964) e pode ser descrita como:

$$\gamma = f(\chi) \quad (3.1.1.1)$$

Em que χ é a economia do trabalho e γ o custo com capital.

Imagina-se que uma maior economia do trabalho requer um aumento da entrada de capital, que pode ser alcançado por meio do progresso técnico na economia do trabalho, numa função decrescente e côncava. A condição de viabilidade clássica captura a escolha, relacionada com as técnicas de produção, enfrentada por um empresário. A pergunta que se enfrenta é a seguinte: deve a nova técnica de produção ser escolhida ou continuar utilizando a técnica vigente, dado que a taxa de salário se manteve inalterada? Isso se relaciona com a condição que deve ser satisfeita para que o progresso técnico viesado seja viável.

A viabilidade é entendida como a adoção de uma nova técnica de produção que leva, necessariamente, ao aumento da taxa de lucro bruta. Então, uma nova técnica de produção é definida como viável se promete uma maior taxa de lucro, ao salário vigente, em comparação com a técnica antiga. Se a taxa de lucro esperada trazida pela nova técnica exceder a taxa de

lucro em vigor o empresário decide por utilizá-la. Os resultados de Foley e Michl (1999) apontam que a condição de viabilidade clássica não foi satisfeita quando testada para um painel de países desenvolvidos.

De acordo com Basu (2009) para uma economia que emerge de um processo de progresso técnico Marx-viesado a viabilidade de uma nova técnica de produção pode ser equivalentemente expressa utilizando-se a taxa de salário ou o ajuste participação nos lucros. Esta caracterização equivalente é resumida na Figura 12.

Figura 12 – Caracterização Equivalente da Condição de Viabilidade

	In terms of wage	In terms of profit share
New Technique is:		
Viable	$w > w'$	$\pi < \pi^*$
Not Viable	$w < w'$	$\pi > \pi^*$
Indifferently Viable	$w = w'$	$\pi = \pi^*$

Fonte: BASU, D. Marx-Biased Technical Change and the Neoclassical View of Income Distribution. *Metroeconomica*, Vol. 61, No. 4, pp. 593-620, Colorado State University, 2009.

A teoria clássica de progresso técnico Marx-viesado viável é equivalente para a proposição de que a taxa de salário vigente é maior do que a produtividade do trabalho. Assim, a nova técnica de produção será viável se a taxa de salário vigente for maior do que a nova taxa de salário, $w > w'$, não viável se $w < w'$ e indiferente viável se $w = w'$. Esta condição contradiz a teoria neoclássica, pela qual a nova técnica de produção é viável pela igualdade entre w e w' .

A condição de viabilidade de Foley e Michl (1999) foi utilizada por Basu (2009) para testar empiricamente o modelo clássico de progresso técnico Marx-viesado contra o modelo baseado na função de produção neoclássica da seguinte forma: modelo clássico implica que $\pi \leq \pi^*$, enquanto o modelo neoclássico implica que $\pi = \pi^*$. Em que π^* é o parâmetro de viabilidade e π é a parcela do lucro na renda nacional. O teste empírico proposto por Basu (2009) não é um teste geral da visão neoclássica do crescimento contra a visão clássica, apenas testa uma versão específica da teoria neoclássica relativa ao processo de substituição capital-trabalho a nível agregado.

A partir da caracterização equivalente, resumida na Figura 12, é determinado se a taxa de salário vigente é maior ou igual à nova taxa de salário (que, por sua vez, é igual a produtividade do trabalho). Os resultados obtidos com dados estendidos da Penn World Tables 2.1 para 25 países da OCDE² e análise de regressão *cross-country* simples, rejeitam fortemente a teoria neoclássica da distribuição. Um dos problemas apontados por Basu (2009) e bem conhecido na economia empírica são os valores de rendimento não muito precisamente estimados para os países menos desenvolvidos. A participação do trabalho na renda nacional é geralmente subestimada. O problema da subestimação surge porque as empresas e indivíduos não relatam os salários como parte da compensação, subestimando assim a participação dos salários em dados agregados. Segundo o autor, é possível que os dados sobre a porcentagem do lucro no produto que são apresentados no EPWT 2.1 também tenham problemas semelhantes.

Sasaki (2008) avaliou empiricamente a condição de viabilidade proposta por Foley e Michl (1999). Dois grupos de países distintos foram testados com o objetivo de demonstrar qual das duas teorias é mais viável para a realidade. O primeiro grupo envolveu países desenvolvidos no período que vai de 1950 a 1992, e o segundo grupo países do Leste Asiático, América Latina, África Subsaariana entre 1980-1995. O objetivo era investigar se a condição de viabilidade é satisfeita nos dois grupos de países com períodos distintos àqueles investigados anteriormente. É elementar assumir que não há diferença no tratamento do capital entre a abordagem do progresso técnico induzido e a abordagem da função de produção neoclássica. Sem se furtar da existência de apenas uma mercadoria que, independente dos preços, pode servir como consumo ou como capital. Isto torna possível compreender a diferença fundamental entre a abordagem de Foley e Michl e a contrapartida neoclássica.

Num primeiro momento Sasaki (2008) examina a condição de viabilidade e o padrão de progresso técnico para o primeiro grupo de países desenvolvidos (França, Alemanha, Japão, Holanda, Reino Unido e Estados Unidos). O período analisado vai de 1950 a 1992. O autor define que a produtividade do capital é obtida pela divisão do PIB real pelo estoque de

² Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) composta por 35 países que aceitam os princípios da democracia representativa e da economia de livre mercado.

capital estimado. Para calcular a taxa de crescimento da produtividade do capital deve-se utilizar a razão capital produto potencial que corresponde a capacidade de utilização normal.

Em economias capitalistas a combinação do crescimento da produtividade do trabalho e declínio da produtividade do capital é um padrão típico de progresso técnico conhecido como Marx-viesado. Se isto ocorre a taxa de lucro irá diminuir sempre que a participação nos lucros permanecer constante. Segundo Foley e Michl (1999) este padrão de progresso técnico tem uma estreita similaridade com os movimentos ao longo da função de produção Cobb-Douglas, que representa a função de produção neoclássica e aparentemente é impossível de distingui-la. Uma vez que a tecnologia de produção possa ser escrita por (x, ρ) , o progresso técnico é expresso pela combinação das mudanças nos parâmetros x e ρ . Segundo a abordagem do progresso técnico de Foley e Michl a taxa de crescimento da relação capital-trabalho (g_k) pode ser representada como a diferença entre o custo do capital (γ) e a economia do trabalho (χ), descrita como:

$$g_k = \gamma - \chi \quad (3.1.1.2)$$

O progresso técnico Marx-viesado segundo Sasaki (2008) irá corresponder sempre que $g_x > 0$ e $g_\rho < 0$. Na abordagem clássica esta condição equivale assumir que $\gamma > 0$ e $\chi < 0$. O padrão de progresso técnico depende de como o pressuposto para o sinal do parâmetro, e quaisquer que sejam os padrões, podem ser trazidos pela suposição paramétrica. Sob a suposição de progresso técnico Marx-viesado, e desde que $\gamma > 0$ e $\chi < 0$, é possível descrever o “parâmetro de viabilidade” $0 < \omega < 1$:

$$\omega = \frac{\gamma}{\gamma - \chi} \quad (3.1.1.3)$$

A partir de g_x e g_ρ tem-se que:

$$g_x = \omega g_k \quad (3.1.1.4)$$

Ao analisar a condição de viabilidade clássica Sasaki (2008) afirma que a expectativa da taxa de lucro trazida por uma nova tecnologia depende da forma como os empresários antecipam o aumento na taxa de salários real (w). Para tanto, considera que os parâmetros (x', ρ') representam a nova tecnologia de produção, descrita por:

$$x' = x + dx = x + \dot{x}dt \quad (3.1.1.5)$$

$$\rho' = \rho + d\rho = \rho + \dot{\rho}dt \quad (3.1.1.6)$$

Em que dx significa mudança infinitesimal de x e \dot{x} representa a derivada no tempo de x , ou seja, como a variável x se modifica no tempo.

De acordo com Sasaki (2008) num primeiro momento os empresários têm a expectativa que a taxa de salário real não deveria aumentar a despeito da adoção da nova técnica. Não obstante os salários reais deverão aumentar após uma demanda por maiores salários. Isto explica porque a taxa de lucros permanece constante como observado. Num segundo momento os empresários têm expectativa de que os salários reais poderiam aumentar devido à adoção da nova técnica. A expectativa é que a taxa de crescimento dos salários reais seja idêntica com a taxa de crescimento da produtividade do trabalho. No primeiro caso, em que os empresários não conseguem antecipar o aumento dos salários reais, a taxa de lucro esperada é definida como a taxa de lucro obtida quando uma nova técnica é adotada com o nível dos salários reais constantes, conforme segue a seguinte equação:

$$v^e = v_0 + dv \quad (3.1.1.7)$$

A condição $v^e \geq v_0$ é alcançada quando $dv \geq 0$, isto é, $\dot{v} \geq 0$. Portanto, a seguinte condição pode ser derivada:

$$\pi\chi + (1 - \pi)\gamma \geq 0 \quad (3.1.1.8)$$

A equação 3.2.8 é denominada “condição de viabilidade” desde que a função de produção seja viável sob a seguinte condição:

$$\omega = \frac{\gamma}{\gamma - \chi} \geq \pi \quad (3.1.1.9)$$

Em que ω representa o parâmetro de viabilidade. Se o progresso técnico for Marxviesado ambos $\gamma > 0$ e $\chi < 0$ o que significa que o estoque de capital por trabalhador está aumentando.

Sasaki (2008) chama a atenção para os valores referentes a parcela salarial listados na base de dados Extend Penn World Table – EPWT. Segundo ele os valores presentes parecem estar subestimados perfazendo com que os resultados referentes a participação nos lucros pareçam superestimados. Supondo que o parâmetro de viabilidade, ω , esteja corretamente calculado esta subestimação significa que a condição $\omega > \pi$ possa ser difícil já que isso é desvantajoso para a abordagem do progresso técnico induzido, enquanto pareça favorável para a história neoclássica. Os dados da EPWT indicaram que a parcela salarial em países avançados são maiores, enquanto nos demais países é menor. Por Sasaki (2008) ambas as

abordagens foram capazes de capturar o progresso técnico induzido, cada uma com a combinação de crescimento da produtividade do trabalho e declínio da produtividade do capital. Os resultados acusaram a predominância da abordagem que Foley e Michl contemplam. No entanto, a disputa de interpretação permanece para o caso do declínio da taxa de produtividade do trabalho, como foi amplamente verificado na América Latina e na África Subsaariana durante o período considerado.

Na seção 3.2 é apresentada a visão da teoria neoclássica de acordo com a função de produção agregada.

3.2 A TEORIA NEOCLÁSSICA DE PROGRESSO TÉCNICO E A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO AGREGADA

A direção do progresso técnico pode ser estudada no âmbito do modelo neoclássico, assumindo que existe uma função de produção agregada que resume as possibilidades de substituição do trabalho pelo capital. Embora esta seja a abordagem padrão e tem méritos, não está isenta de problemas, em particular, aqueles vieram à tona durante a controvérsia de Cambridge nos anos 1950 e 1960. A longa história do progresso técnico Marx-viesado permitiu considerar diferentes perspectivas sobre a força empírica da função de produção neoclássica.

A função de produção continua sendo o alicerce da maioria das pesquisas empíricas, enquanto as análises quantitativas do processo de crescimento econômico por meio das pesquisas não neoclássicas tem perdido espaço e recebido menos atenção do que os trabalhos neoclássicos. Do ponto de vista heterodoxo a função de produção, que mapeia toda a gama de relações capital-trabalho em produção por trabalhador, é apenas o registro do passado das tecnologias numa forma reduzida. Ainda assim, é uma ferramenta muito utilizada na análise aplicada para a prática investigadora do crescimento econômico e parece se encaixar muito bem como ferramenta para análise de dados de séries temporais do mundo real. Para além da conveniência analítica, existe uma justificativa para as suposições sobre a forma da função de produção e o progresso técnico. Não é apenas uma tecnologia única, mas representa as possibilidades de substituição por meio de diferentes técnicas de produção.

O cenário neoclássico leva a predições importantes sobre a forma da função de produção e a direção do progresso técnico. Jones (2004) lembra que para um modelo de crescimento neoclássico exibir crescimento em estado estacionário, a função de produção deve ser Cobb-Douglas ou o progresso técnico ser do tipo Harrod-neutro no longo prazo. Uma vez que a função de produção Cobb-Douglas permite um grau muito elevado de substituíbilidade entre o trabalho e o capital, uma pequena alteração na taxa de salário maximiza a taxa de lucro levando os empresários a escolher uma técnica de produção diferente. Se a visão neoclássica implica que a economia está sempre em equilíbrio, equivale à proposição de que o salário atual é igual à nova taxa de salário $w = w'$, que por sua vez, é igual a produtividade do trabalho.

De acordo com Jones (2004) a escolha das melhores técnicas de produção individuais levam ao progresso técnico Harrod-neutro de longo prazo. A forma da função de produção é impulsionada pela distribuição das técnicas de produção alternativas, em vez de pela forma da função de produção local que se aplica para uma única técnica. Para qualquer nível de capital, a função de produção mostra a quantidade máxima de produto por trabalhador que pode ser produzido usando o conjunto de técnicas que estão disponíveis.

Jones (2004) ainda sugere várias direções adicionais da abordagem neoclássica. Em primeiro lugar, as formas padronizadas de introdução do trabalho qualificado e não qualificado envolvem funções de produção com uma elasticidade de substituição maior do que um. O que consiste com a observação de que a participação do trabalho não qualificado na renda parece estar caindo. Em segundo lugar, grandes quedas nos preços dos bens de investimento duradouros são muitas vezes interpretadas como investimento específico de progresso técnico. São vistos como um aumento da produtividade do capital em vez do aumento na produtividade do trabalho.

Para Solow (1957), em alguns tipos de macro modelos de longo prazo, a função de produção agregada é quase tão indispensável como função consumo agregado é para o curto prazo. Enquanto insistirmos na prática da macroeconomia haverá necessidade das relações agregadas. Segundo o autor, progresso técnico é a expressão abreviada para qualquer tipo de mudança na função de produção. Um progresso técnico na função de produção é definido como neutro se as taxas marginais de substituição permanecem inalteradas, dada a relação capital-trabalho. Disto, o progresso técnico neutro simplesmente aumenta ou diminui a saída atingível a partir de determinados insumos. Foi com Solow (1956) que a concepção de função

de produção agregada começou a ser vista como ferramental essencial para as aplicações empíricas e análises de crescimento econômico.

Solow (1957) indica com uma conclusão formal que durante o período de 1909-1949 a função de produção agregada da economia americana se deslocou na direção do progresso técnico neutro. Seu trabalho sugere uma maneira simples de segregar turnos da função de produção agregada dos movimentos ao longo dela. Encontram-se evidências de que a taxa média de progresso técnico nos anos 1909-1929 foi menor do que a partir de 1930-1949. Os resultados assumem que o progresso técnico durante este período foi neutro, em média. A função de produção agregada foi estritamente linear com uma mudança para cima, à uma taxa média de 1% ao ano para o primeiro semestre do período e de 2% ao ano durante o último semestre. Assume ainda que a produção bruta por hora homem dobrou o intervalo, com 87,5% de aumento atribuível às alterações técnicas e 12,5% ao aumento no uso de capital.

À parte com a conceituação tradicional, o progresso técnico segundo Violant (2008) faz mais sentido se analisado com um fator tendencioso. Nesta concepção um progresso técnico na produção tende a favorecer o trabalho qualificado frente ao trabalho não qualificado.

Denomina-se “viés da habilidade do progresso técnico” àquele que induz o aumento da produtividade relativa e da habilidade dos trabalhadores, fazendo com que a proporção dos salários do trabalho qualificado também aumente. De acordo com Violant (2008) dados recentes mostram que o preço do trabalho qualificado subiu substancialmente em relação ao preço do trabalho não qualificado. Esse fato ocasiona a ascensão da oferta de competência e mostra que as alterações na proporção salarial para o trabalho qualificado não poderia ser gerada com movimentos ao longo da função de produção. Justifica-se, pois o progresso técnico de fator neutro não produz efeito nos preços relativos. Em vista disto, o autor modifica a função de produção de modo que não é mais necessário especificar o que faz com que um trabalhador seja qualificado ou não qualificado (educação, habilidade, experiência, etc). Neste caso, o viés da habilidade do progresso técnico poderia induzir o aumento da produtividade do trabalho qualificado perfazendo um aumento da produção e da proporção nos salários.

O próximo capítulo tratará da metodologia a ser adotada nesta dissertação, bem como os dados utilizados e os resultados proferidos sobre a viabilidade empírica da fronteira de possibilidades de inovação para os Estados Unidos.

4 A FRONTEIRA DE POSSIBILIDADES DE INOVAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia a ser empregada nesta dissertação para estimar a fronteira de possibilidades de inovação dos Estados Unidos ao longo do tempo (1950-2011). O capítulo está organizado como segue. A seção inicial apresenta uma breve revisão sobre a metodologia e testes, sobretudo, sobre a maneira de como serão realizadas as análises econométricas. A segunda seção informa como os dados foram obtidos e quais foram as variáveis utilizadas. A terceira seção estima a fronteira de possibilidade de inovação para os Estados Unidos. Por fim, a quarta seção conclui este capítulo discutindo os resultados.

4.1 METODOLOGIA E TESTES

A fronteira de possibilidade de inovação para os Estados Unidos será estimada por meio da equação do modelo teórico apresentado por Kennedy (1964). O objetivo é verificar se a fronteira de possibilidades de inovação dos Estados Unidos é uma descrição compatível com o progresso técnico ocorrido no período de 1950-2011. Para encontrar o padrão de progresso técnico será empregada a análise gráfica com o objetivo de interpretar os seus efeitos sobre as participações relativas de capital e trabalho. Uma vez que as taxas de crescimento da produtividade do trabalho (g_x) e a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) sejam encontradas é possível definir vários tipos de progresso técnico. Como ilustração desta ideia, a adoção de uma determinada técnica será definida com base na taxa de salário e na taxa de lucro.

De acordo com Matos (2000) uma série estacionária pode ser pensada como uma amostra de um processo estocástico estacionário. Um processo é estacionário se os valores da série flutuam em torno de uma média e variância constantes ao longo do tempo e se o valor da covariância entre dois períodos de tempo decrescer em função do número de defasagens que separa as observações e não do período de tempo associado aos valores da série.

Matos (2000) afirma que as equações estimadas com base em séries de tempo podem produzir resultados espúrios ou duvidosos, isto é, sem significado do ponto de vista econômico. Em geral, tais estimativas são caracterizadas por valores elevados das estatísticas t , F e R^2 , além de exibir valores baixos da estatística DW de Durbin-Watson. Desta forma, a validade dos resultados – equação estimada e inferências obtidas – faz sentido somente se constatada a estacionariedade das séries de tempo.

Para verificar se uma série de tempo é ou não estacionária existem diversos procedimentos, destacando-se o exame de correlogramas, os testes baseados nas funções de autocorrelação e os testes de raiz unitária. Para diagnosticar a estacionariedade das séries optou-se pelo teste da raiz unitária. Este teste informa que na presença de raiz unitária na série de tempo. Assim, uma série é não estacionária se possui raiz unitária, isto é, segue um passeio aleatório e não depende de nenhuma outra variável, a não ser da tendência.

Do ponto de vista estatístico, segundo Matos (2000) diz-se que uma série Y_t tem raiz unitária se, numa equação que relacione Y_t com uma variável dependente e seus próprios valores ao período anterior, Y_{t-1} , como variável explicativa, o coeficiente estimado associado a Y_{t-1} for estatisticamente igual à unidade. Para descobrir se o modelo autoregressivo tem ou não raiz unitária, optou-se por utilizar os testes desenvolvidos por Dickey e Fuller (1979 e 1981) e o teste de Phillips e Perron (1988). Nestes testes é possível escolher a forma funcional que melhor se adapta ao comportamento empírico dos dados, que pode ser com intercepto, tendência, com ambos ou nenhum.

O teste *Dickey-Fuller Aumentado* ou Teste ADF tem o propósito de aferir a existência ou não de tendência estocástica das séries temporais. O procedimento básico para a realização deste teste para uma série Y_t qualquer consiste em regredi-la contra seus valores defasados de um período. Em seguida, testa-se a significância estatística do parâmetro Y_{t-1} .

Gujarati (2006) descreve que, por meio desta equação, testa-se a hipótese nula de que $\delta = 0$, ou seja, a série temporal tem raiz unitária (não-estacionária). Sob esta hipótese nula, o valor t estimado do coeficiente Y_{t-1} passa a ter sua significância avaliada via a estatística τ (tau). Portanto, a hipótese alternativa mostra que, quando a hipótese de que $\delta = 0$ é rejeitada (a série temporal é estacionária), utiliza-se o teste t . As séries temporais serão analisadas em nível, em primeira diferença e em segunda diferença.

O teste de *Phillips-Perron* faz uma correção não paramétrica do teste de Dickey e Fuller. Usualmente é utilizado no caso em que o termo de erro apresenta autocorrelação, ou seja, quando não é um ruído branco. De acordo com Bueno (2011) o teste é consistente mesmo que haja variáveis defasadas dependentes e correlação serial nos erros e torna desnecessária a especificação de um modelo autoregressivo para expurgar a correlação serial dos resíduos.

Um dos problemas do teste de raiz unitária desenvolvido por Dickey e Fuller é que este não consegue rejeitar a hipótese nula para uma infinidade de séries econômicas. Bueno (2011) afirma que por esta razão outros testes vêm sendo desenvolvidos, entre eles o teste de Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS) idealizado em 1992. O argumento é que este teste complementa os demais testes de raiz unitária cujos dados não são suficientemente conclusivos.

A hipótese nula e a hipótese alternativa de estacionariedade da série de cada abordagem são descritas como segue:

- ADF/PP – $H_0 : y_t \sim I(1)$ contra $H_1 : y_t \sim I(0)$
- KPSS – $H_0 : y_t \sim I(0)$ contra $H_1 : y_t \sim I(1)$

Constatada a presença ou não de raiz unitária, aplica-se o teste para definição das defasagens ótimas. Bueno (2011) afirma que o número de defasagens incluídas deve ser tal que os resíduos estimados sejam um ruído branco. Segundo o autor, poucas defasagens não “branqueiam” os resíduos. Do ponto de vista prático, é preciso introduzir tantas variáveis autoregressivas quantas forem necessárias para que o teste dos resíduos não rejeite a hipótese de que se trata de um ruído branco. No entanto, o excesso de defasagens diminui o poder do teste em direção da rejeição da hipótese nula, por reduzir o número de graus de liberdade.

Assim, um critério para se determinar o número ótimo de defasagens pode ser a significância estatística da última. No entanto, existem critérios mais formais para isto. Trata-se, entre outros, dos critérios de informação de Akaike (AIC) e de Schwarz (SIC). Em termos de interpretação, o ideal é que ambos os critérios assumam o valor mínimo. As defasagens ótimas, nesta dissertação, foram definidas de acordo com o critério de Schwarz, mais robusto e indicado para grandes amostras.

Ao se constatar a presença de raiz unitária das séries de tempo envolvidas é necessário diferenciar a série d vezes a fim de torna-la estacionária. Séries de tempo que possuem o

mesmo grau de integração d podem ser co-integradas, ou seja, exibir um equilíbrio ou relação de longo prazo. Em caso afirmativo necessita-se modificar a especificação do modelo com a incorporação do termo de correção de erros a fim de obter resultados com significado econômico. Nota-se que caso duas ou mais variáveis sejam não estacionárias mas sigam tendências estocásticas crescentes ou decrescentes análogas, os movimentos de uma variável correspondem aproximadamente aos movimentos da outra. Mais especificamente Matos (2000) afirma que se duas séries de tempo movem-se em conjunto de forma uníssona e sincronizada, apesar de seguirem um passeio aleatório, estas séries são co-integradas.

De acordo com Hill, Griffiths e Judge (2003) a co-integração implica que y_t e x_t exibem uma relação de equilíbrio de longo prazo. Ou seja, implica na existência de discrepâncias entre valores de longo e de curto prazo da variável dependente. Tal discrepância é entendida como um desequilíbrio de curto prazo. Ao incorporar um termo de desequilíbrio ao modelo em diferenças equaciona-se o problema da existência de raiz unitária sem se perder informações relevantes.

Segundo Bueno (2008) a contribuição dos conceitos de raiz unitária, co-integração, entre outros é verificar se os resíduos da regressão são estacionários. O teste de co-integração é um pré-teste para evitar situações de regressão espúria. Pode-se testar se y_t e x_t são ou não co-integradas testando se os erros, $e_t = y_t - \beta_1 - \beta_2 x_t$, são estacionários. Como não é possível observar e_t , testa-se a estacionariedade dos resíduos de mínimos quadrados. Isto é, a cointegração pode ser verificada por um teste de raiz unitária nos resíduos da regressão.

Um dos métodos mais utilizados para testar a existência de cointegração é o teste de Johansen devido a sua precisão nos resultados que permite identificar quantos vetores de co-integração existem entre as variáveis. O teste ainda permite analisar quais vetores co-integrantes podem ser considerados estatisticamente significantes para o modelo econométrico empregado.

Para estimar os parâmetros desconhecidos do modelo de regressão utilizou-se o processo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). De acordo com Hill, Griffiths e Judge (2003) o método dos mínimos quadrados consiste em adotar os estimadores que minimizam a soma dos quadrados dos desvios entre valores estimados de y_t e valores observados na amostra. Os estimadores de mínimos quadrados são variáveis aleatórias e tomam valores diferentes em diferentes amostras sendo que os seus valores não são conhecidos até a coleta de uma amostra e cálculo deles. As propriedades amostrais dos estimadores de mínimos

quadrados mostra como as estimativas variam de uma amostra para outra e representa uma base para avaliar a confiabilidade das estimativas. As hipóteses do modelo supõem que um estimador de mínimos quadrados é não tendencioso e que não há outro estimador não tendencioso que apresente variância menor. Isto é, os estimados de mínimos quadrados para o modelo de regressão múltipla são os melhores estimadores lineares não tendenciosos dos parâmetros (*BLUE – Best Linear Unbiased Estimators*).

A próxima seção fará uma análise, em maior detalhe, dos dados que fazem parte da estimação da fronteira de possibilidades de inovação.

4.2 BASE DE DADOS

O banco de dados utilizado na análise econométrica é o *United States Long Term – USLT* organizado por Dumenil e Lévy (1994). A USLT dispõe de uma série de dados para a economia dos Estados Unidos desde a Guerra Civil. Contempla um conjunto básico de contas nacionais, dados demográficos, entre outros. As informações disponíveis possibilitam comparações entre diferentes períodos ao longo de tempo. Mediante esta base de dados foram obtidas as variáveis necessárias para o teste empírico desta dissertação. Os dados correspondem a uma série anual para um período de 141 anos.

A unidade de análise é a economia privada dos Estados Unidos cujos dados cobrem o período de 1950 a 2011. Para a construção do banco de dados e posterior análise optou-se pelo *software* estatístico Eviews 9.0. As variáveis empregadas na verificação empírica da presente dissertação são distinguidas a seguir:

- i) *Produto Interno Bruto (X)*: representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos em uma economia em valores monetários durante um determinado período. Esta variável (dados extraídos da *United States Long Term*) é considerada um dos indicadores mais utilizados na mensuração das atividades econômicas, conforme destaca Jones (2000);
- ii) *Estoque de capital (K)*: obtido a partir das séries de investimento computadas da variável participação real do investimento no PIB da *United States Long Term*.

- iii) *Número de trabalhadores (L)*: consiste em um conjunto de indivíduos que compartilham de, pelo menos, uma característica comum;
- iv) *Produtividade do trabalho (x)*: refere-se à quantidade de produto por unidade de fator produtivo, neste caso o fator trabalho, ou seja, é o quociente da produção pelo tempo de trabalho. Para esta variável, verifica-se se um aumento desta produtividade do trabalho impacta sobre o nível de crescimento econômico do país. Essa variável é medida como a razão entre o Produto Interno Bruto e o número de trabalhadores, ou seja, é a variável PIB real por trabalhador-ano;
- v) *Produtividade do capital (ρ)*: quantidade de capital por unidade de fator produtivo, neste caso o fator capital, ou seja, é o quociente da produção pelo volume de capital. Para esta variável, verifica-se se um aumento desta produtividade do capital impacta sobre o nível de crescimento econômico do país. Essa variável é medida como a razão entre o Produto Interno Bruto e o estoque de capital estimado (K);

4.3 APLICAÇÃO EMPÍRICA

Nesta seção será discutida como a equação do modelo teórico proposta por Kennedy (1964) é empregada na estimação da fronteira de possibilidades de inovação. O encontro de variáveis relevantes para a sua aplicação técnica tornou possível a utilização de um modelo econométrico de séries de tempo. Esta seção procura esclarecer de que modo alguns resultados podem surgir e constitui-se em uma transição para a interpretação dos resultados. Por isso, tem um papel fundamental na interpretação dos resultados a serem alcançados.

Nesta dissertação é estimada empiricamente a fronteira de possibilidades de inovação a partir do modelo de Kennedy (1964). A ideia da formulação de Kennedy é que uma maior economia do trabalho requer um aumento da entrada de capital, que pode ser alcançado por meio do progresso técnico poupador de trabalho. O modelo de Kennedy foi construído com base em identidades das contas nacionais e quando aplicados a dados empíricos pode identificar tendências de longo prazo e pontos de interrupção em economias específicas. De

modo geral, uma melhoria técnica reduzirá a quantidade de trabalho requerido para produzir uma unidade de produto de certa proporção (g_x) e o montante de capital numa proporção (g_ρ). Portanto, recorre-se à equação:

$$g_x = f(g_\rho) \quad (4.3.1)$$

Para encontrar uma equação que permita estimar, em termos econométricos, a fronteira de possibilidades de inovação proposta por Kennedy, tem-se a seguinte especificação:

$$g_x = \beta_1 + \beta_2 g_\rho + \varepsilon \quad (4.3.2)$$

Em que:

g_x = variável dependente (taxa de crescimento da produtividade do trabalho)

g_ρ = variável independente (taxa de crescimento da produtividade do capital)

β_1 = parâmetro estrutural constante/intercepto

β_2 = parâmetro estrutural em que $\beta_2 < 0$

ε = termo de erro aleatório com distribuição normal, média zero e variância constante

A equação (4.3.2) estabelece que a taxa de crescimento da produtividade do trabalho é função da taxa de crescimento da produtividade do capital. Para encontrar as especificações econométricas basta regredir a variável dependente contra as demais variáveis explicativas. As soluções são dadas em variações percentuais, ou taxas de crescimento.

No modelo econométrico, o parâmetro β_1 é o termo intercepto e mede o valor da variável dependente quando cada uma das variáveis independentes, toma o valor zero. Inclui-se o intercepto para atribuir as propriedades matemáticas desejáveis e melhorar a capacidade preditora do modelo. Em muitos casos, Hill, Griffiths e Judge (2003) afirmam que este parâmetro não tem interpretação econômica clara, mas está quase sempre incluído nos modelos de regressão auxiliando na estimação.

O parâmetro estrutural β_2 mede o efeito de uma modificação na variável explicativa g_ρ sobre o valor esperado da variável dependente g_x , mantidas constantes todas as demais variáveis. Representa o coeficiente angular na direção do eixo da taxa de crescimento da produtividade do capital. Espera-se que este coeficiente seja negativo.

Adiciona-se ainda ao modelo o termo de erro aleatório (ε) para levar em conta uma diferença entre a taxa de crescimento da produtividade do trabalho observável e o valor esperado da mesma. O termo de erro representa todos os fatores que não permitem que a taxa de crescimento da produtividade do trabalho difira de seu valor esperado. A introdução do termo de erro transforma o modelo econômico num modelo econométrico, que proporciona uma descrição mais realista da relação entre as variáveis e facilita a avaliação dos parâmetros independentes.

Do ponto de vista da teoria econômica a variável explicativa tende a apresentar sinal esperado negativos de β_2 para seguir o mesmo padrão esperado da fronteira de possibilidades de inovação de Kennedy (1964). Assim, espera-se que um aumento da taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) leve a uma redução da taxa de crescimento da produtividade do trabalho (g_x).

A próxima seção apresenta os principais resultados da estimação da fronteira de possibilidades de inovação dos Estados Unidos.

4.4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos para a fronteira de possibilidades de inovação dos Estados Unidos durante o período de 1950-2011. Encontrar evidências empíricas desta fronteira pode ser útil para a formulação de políticas públicas ao contribuir para que os agentes possam traçar o caminho em direção ao crescimento econômico das economias.

Para aferir empiricamente a fronteira de possibilidades de inovação estimou-se um modelo econométrico de séries de tempo. Os parâmetros desconhecidos foram estimados por meio do processo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), visto que o modelo não contém vetores de cointegração. Optou-se por estimar o modelo com taxas de crescimento de oito anos em virtude do ciclo de vida do capital ou o tempo de retorno do investimento sobre o capital. O modelo econométrico com taxas de crescimento de oito anos foi aquele que melhor representou a substituição do capital por trabalho e obteve os maiores valores para os coeficientes de determinação e angular. Isto sugere que após este período a eficiência do

capital começa a se esgotar e o trabalho passa a ser mais eficiente que o capital, o que denota um novo ciclo de vida do capital. Deste modo, o ciclo de vida do capital é delineado de acordo com tempo necessário para que os agentes econômicos assimilem a nova tecnologia.

Num contexto de séries temporais, um dos primeiros passos da pesquisa foi descobrir se as séries temporais coletadas são estacionárias. Segundo Bueno (2011) a inspeção visual de série raramente permite distingui-la como de tendência estocástica ou tendência determinística. Para evitar a ocorrência de equívocos foram utilizados testes para verificação da existência de raiz unitária. Convencionalmente, utiliza-se mais de um teste de acordo com as características do processo estocástico e as preferências do pesquisador.

Para descobrir se o modelo tem ou não raiz unitária, optou-se por utilizar os testes de *Dickey-Fuller Aumentado* e *Phillips-Perron* que testaram a hipótese H_0 de que as séries observadas são não estacionárias ao nível de 1%, 5% e 10% de significância, e o teste *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* no qual se testou a hipótese H_0 de que as séries são estacionárias a 1% de significância (LM Stat. = 0,7390). A Tabela 1 apresenta os resultados estimados pelos testes em nível e em primeira diferença. O critério utilizado foi o critério de Schwarz.

Tabela 1 - Resultados dos testes de estacionariedade para taxas de crescimento de oito anos

		ADF		PP		KPSS	
		<i>gx</i>	<i>gp</i>	<i>gx</i>	<i>gp</i>	<i>gx</i>	<i>gp</i>
Com intercepto	Em nível	0.5247	0.0558***	0.4237	0.2662	0.287697*	0.191265*
	Em primeira diferença	0.0227**	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.109693*	0.106593*
Com intercepto e com tendência	Em nível	0.6900	0.2745	0.7027	0.6320	0.128143*	0.081577*
	Em primeira diferença	0.0994***	0.0000*	0.0002*	0.0000*	0.113189*	0.067393*
Nenhum	Em nível	0.3092	0.0050*	0.1584	0.0468**		
	Em primeira diferença	0.0018*	0.0000*	0.0000*	0.0000*		

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

*estacionária ao nível de 1%, ** estacionária a 5%, ***estacionária a 10%.

Verifica-se na Tabela 1 que o teste de *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS) foi o único que não detectou raiz unitária em nível para todas as variáveis analisadas. Isto sugere que as séries da economia americana são estacionárias em nível, ou integradas de ordem zero,

I(0). Deste modo, a variância da série é finita e choques ou inovações sobre a variável dependente têm efeitos temporários e os coeficientes de autocorrelação simples decrescem rapidamente com o aumento do número de defasagens. Portanto, optou-se por considerar os resultados obtidos pelo teste de KPSS não perfazendo o teste de cointegração.

Nos testes de *Dickey-Fuller Aumentado* e *Phillips-Perron* não se constatou estacionariedade da série em nível e o procedimento foi repetido com o uso da primeira diferença. Logo, a defasagem ótima encontrada foi igual a 1 o que demonstra que a série é integrada de grau um I(1) e sua variância tende ao infinito à medida que o período de tempo cresce. Segundo Matos (2000) os choques ou inovações sobre a variável dependente terão efeitos permanentes e os coeficientes de autocorrelação tendem para 1 com o aumento do número de defasagens.

De acordo com MacKinnon (1996) um modelo sem intercepto e sem tendência assume pressupostos menos restritivos e faz sentido somente se a variável dependente tem média zero. Em contraste, um modelo com intercepto e com tendência assume que a variável dependente não possui média igual a zero e permite ter uma tendência.

O resultado obtido da regressão estimada pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) entre a taxa de crescimento da produtividade do trabalho (g_x) e a tendência da série mostra que o intercepto e tendência são estatisticamente significativos ao nível de 1%. O mesmo resultado foi encontrado na regressão entre a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) e a tendência da série. Posto isto, optou-se por analisar um modelo com intercepto e com tendência. Os resultados da estatística descritiva do modelo estimado estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da estatística descritiva

	gx 8 anos	gp 8 anos
Média	0,054913	-0,004301
Mediana	0,049076	-0,005828

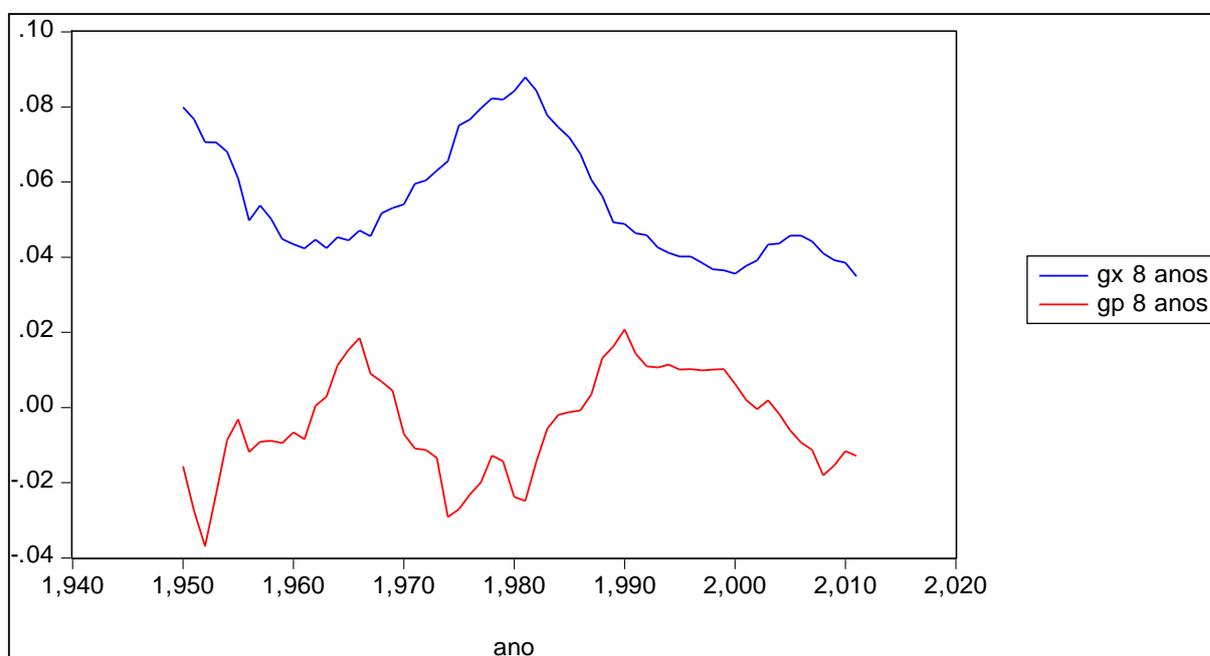
Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os dados da Tabela 2 mostram que o valor médio calculado para o parâmetro g_x foi 0,054913. Há indícios que a maioria dos valores observados deste parâmetro são positivos. Visto que o número total de observações é par a mediana foi obtida calculando-se a média

entre os dois valores centrais. A mediana calculada de g_x mostra que o valor intermediário ou central que divide o conjunto de dados faz parte da metade superior. A média do parâmetro g_ρ foi -0,004301 evidenciando que a maioria dos valores deste são negativos tal como a mediana de -0,005828 que pertence à metade inferior do conjunto de dados ordenado em duas metades.

A Figura 13 ilustra a evolução das taxas de crescimento dos parâmetros capital e trabalho ao longo do período analisado.

Figura 13 – Evolução das taxas de crescimento dos parâmetros trabalho e capital nos Estados Unidos entre 1950-2011



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Observa-se, na Figura 13, a existência de um *trade-off* entre a taxa de crescimento da produtividade do capital e do trabalho, tal como sugere a fronteira de possibilidades de inovação de Kennedy (1964). Logo, uma melhoria técnica reduz a quantidade de trabalho requerido para produzir uma unidade de produto de certa proporção (g_x) e o montante de capital numa proporção (g_ρ). Nesse período, o progresso técnico tomou a forma Marxviesada.

Realizou-se o ajustamento da série temporal por meio do Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para 62 observações resultantes do período analisado. Na Tabela 3 discrimina-se cada uma das variáveis incluídas na função de regressão, com os

respectivos coeficientes estimados, erros-padrão, estatísticas t calculadas e probabilidade de rejeição de H_0 (nível de significância).

Tabela 3 – Resultados do modelo de regressão

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística-t	Probabilidade
C	0.051948	0.001678	3.095.423	0.0000
gp 8 anos	-0.689544	0.119362	-5.776.898	0.0000
R ²				0.357413
R ² Ajustado				0.346703
Soma dos erros da regressão				0.012581
Soma dos quadrados dos resíduos				0.009496
Função log probabilidade				1.843.289
F-calculado				3.337.255
Probabilidade (F-calculado)				0.000000
Média da variável dependente				0.054913
Desvio padrão da variável dependente				0.015565
Critério de informação Akaike				-5.881.577
Critério de informação Schwarz				-5.812.960
Critério de informação Hannan-Quinn				-5.854.637
Estatística Durbin-Watson				0.188382

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

As especificações econométricas de cada parâmetro mostram que pelo resultado do intercepto pode-se inferir que se a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) for igual a zero, a taxa de crescimento da produtividade do trabalho (g_x) aumenta 5,1948%. O resultado aferido para o coeficiente angular mostra que o aumento de 1% na taxa de crescimento da produtividade do capital (g_p) resulta em uma redução de 68,954% na taxa de crescimento da produtividade do trabalho (g_x). Essas informações sugerem uma baixa elasticidade do intercepto e do coeficiente angular em relação a variável dependente. Ou seja, variações na taxa de crescimento de capital causam poucas alterações na taxa de crescimento da produtividade do trabalho.

De modo geral, os resultados reportados pelo modelo econométrico estimado nesta dissertação parecem ser consistentes com o padrão de progresso técnico Marx-viesado e permitem constatar que a fronteira de possibilidades de inovação estimada é uma descrição compatível com o progresso técnico ocorrido no período de análise.

5 CONCLUSÃO

A presente dissertação investiga empiricamente a relação entre a taxa de crescimento das produtividades do capital e do trabalho. O problema principal foi verificar se o formato teórico da fronteira de possibilidades de inovação derivada de Kennedy (1964) encontra respaldo empírico quando estimado para os Estados Unidos no período de 1950-2011.

A partir da revisão de literatura clássica do desenvolvimento econômico que trata da hipótese do progresso técnico induzido foi possível identificar os fundamentos teóricos envolvidos na derivação da fronteira de possibilidades de inovação. Observaram-se as razões pelas quais o progresso técnico pode assumir uma forma particular dada a distribuição de renda entre capital e trabalho.

A sustentação teórica das abordagens de Hicks (1932) e Kennedy (1964) esclareceu quais fatores podem induzir o capitalista a inovar tecnologicamente em busca de técnicas poupadoras de trabalho. No contexto do debate sobre progresso técnico a fronteira de possibilidades de inovação de Kennedy (1964) assegura uma restrição na escolha dos capitalistas quando se decide sobre qual inovação adotar, de tal modo que maiores taxas de crescimento da produtividade do trabalho ocorrem quando maior é a participação do trabalho na renda.

Revisaram-se as concepções observadas na literatura recente no âmbito específico da teoria do progresso técnico induzido. Os aspectos essenciais da teoria do progresso técnico induzido foram fundamentados sob a perspectiva de Duménil e Lévy (2009), central para a análise clássica-marxista. A partir da função de progresso técnico induzido foi possível formalizar a ideia maximização dos lucros por meio da inovação.

Os métodos pelos quais o progresso técnico pode ser representado foram aferidos por meio de evidências empíricas que abordam a relação entre progresso técnico e crescimento econômico, sobretudo centrando-se nas concepções teoricamente derivadas de Kennedy (1964). O padrão de progresso técnico Marx-viesado mostrou-se um valioso instrumento para interpretar os caminhos do crescimento econômico em economias capitalistas. Foram revisitados estudos empíricos derivados da teoria clássica do progresso técnico Marx-viesado com as suas devidas adaptações bem como as metodologias utilizadas, que serviram como referência para a estimação da fronteira de possibilidades de inovação.

Para averiguar empiricamente a fronteira de possibilidade de inovação adaptou-se a equação do modelo teórico apresentado por Kennedy (1964). A partir da base de dados *United States Long Term* (USLT) foi possível a utilização de um modelo econométrico de séries de tempo. A metodologia empregada permitiu estimar a fronteira de possibilidades de inovação para os Estados Unidos no período de 1950-2011.

Por meio do processo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) estimou-se um modelo de regressão entre as taxas de crescimento das produtividades do trabalho e do capital. Verificou-se estacionariedade da série para taxas de crescimento de oito anos em nível pelo teste de *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*. Os resultados da análise econométrica mostram a existência de um *trade-off* entre a taxa de crescimento da produtividade do capital e do trabalho. Ressalta-se que uma elevação na taxa de crescimento da produtividade do trabalho foi obtida por um decréscimo na taxa de crescimento da produtividade do capital, dado que a parcela da renda do trabalho foi superior a 50 por cento.

Pode-se inferir pelas especificações econométricas dos parâmetros, que a taxa de crescimento da produtividade do trabalho (g_x) aumenta 5,1948% sempre que a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_ρ) for igual a zero e aumenta 68,954% se a taxa de crescimento da produtividade do capital (g_ρ) diminuir 1%. A estimação empírica da fronteira de possibilidade de inovação para os Estados Unidos sugere, portanto, que há um *trade-off* entre o crescimento das produtividades do capital e do trabalho. .

Ainda incipientes, os resultados confirmam que a fronteira de possibilidades de inovação estimada é compatível com a descrição do progresso técnico ocorrido nos Estados Unidos no período de análise. A estimativa do modelo teórico de Kennedy mostrou que há um viés tecnológico poupador de trabalho. A possível explicação para este fenômeno pode ser a maior participação na renda do trabalho do que o capital. Assim, os resultados reportados reforçam a hipótese de que o maior custo salarial é um fator relevante para a promoção do progresso técnico.

A contribuição desta dissertação é a estimação empírica da fronteira de possibilidades de inovação, teoricamente derivada por Kennedy (1964) e a investigação da relação entre o progresso técnico e o seu impacto no crescimento econômico e das variáveis que permeiam o progresso técnico induzido. Os resultados aqui obtidos, porém, podem provocar novos estudos sobre a fronteira de possibilidades de inovação. Um aperfeiçoamento futuro seria

adequar o modelo de estudo às sugestões teóricas vigentes. Não obstante, poder-se-ia utilizar a fronteira de possibilidades de inovação estimada para avaliar a sua relação com outras variáveis envolvidas na discussão relativa à literatura do desenvolvimento econômico. Outra possibilidade seria a análise dos dados resultantes da aplicação das metodologias apresentadas ao longo desta dissertação para observar qual o formato empírico da fronteira de possibilidades de inovação para um painel ou grupo de países. Sugere-se ainda o aperfeiçoamento deste trabalho para futuros modelos de previsão.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D. Labor and Capital Augmenting Technical Change. **Journal of the European Economic Association**, Massachusetts, v. 1, p. 1-37, Institute of Technology, European Economic Association, 2003. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/40005140>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

BASU, D. Marx-Biased Technical Change and the Neoclassical View of Income Distribution. **Metroeconomica**, Vol. 61, No. 4, pp. 593-620, Colorado State University, 2009. Disponível em: <http://people.umass.edu/dbasu/Papers/BiasedTC_MECA_Preprint.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2016.

BUENO, R. L. da S. **Econometria de Séries Temporais**. 2 ed., São Paulo: Cengage Learning, 2011. ISBN 978-85-221-1157-2.

CASTRO, A. C.; CARVALHO, F. J. C. de. Progresso técnico e economia. **Revista USP – Ciências Exatas**, São Paulo, n. 76, p. 26-33, dezembro/fevereiro 2007-2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/viewFile/13635/15453>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

DUMÉNIL, G.; LÉVY, D. **A Stochastic Model of Technical Change, Application to the US Economy (1869-1989)**, *Metroeconomica*, Vol. 46(3), pp. 213-245, 1995. Disponível em: <<http://www.jourdan.ens.fr/levy/dle1995b.htm>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

_____. **Keynesian and Marxian macroeconomics: Toward a synthesis**. Paris-Jourdan Sciences Économiques, texto para Discussão, Paris, 2011. Disponível em: <<http://www.jourdan.ens.fr/levy/dle2011g.htm>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

_____. The classical-marxian evolutionary model of technical change. Application to historical tendencies. **The Classical Approach to Technical Change and Capital Accumulation**, Nova York, version march 16, 2009, january 3-5, 2009.

_____. **Technology and distribution: historical trajectories à la Marx**. *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 52, pp. 201-233, 2003. Disponível em: <<http://www.jourdan.ens.fr/levy/dle2003e.htm>> acesso em 17 de agosto de 2015.

_____. **United States Long Term - USLT**. Data Base, Version January 2013. Disponível em: <<http://www.jourdan.ens.fr/levy/uslt4x.txt>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

EVIIEWS 9 USER’S GUIDE I. IHS Global Inc, ISBN:978-1-880411-23-0, April 15, 2015.

FELIPE, J.; KUMAR, UTSAV. **Technical Change in India’s Organized Manufacturing Sector**. Levy Economics Institute of Bard College, Working Paper No. 626, Asian Development Bank, Manila, Philippines, October 2010. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=1691695>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

FERRETTI, F. Patterns of technical change: a geometrical analysis using the wage- profit rate schedule. **International Review of Applied Economics**. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/24082692_Patterns_of_technical_change_A_geometrical_analysis_using_the_wage-profit_rate_schedule>. Acesso em: 11 mai. 2015.

FOLEY, D. K.; MICHL, T. R. **Growth and Distribution**. Harvard University, ISBN 9780674364202, Massachusetts, 1999

FOLEY, D. K. **Unholy Trinity: Labor, capital, and land in the new economy**. London: Routledge, 98 pages, index. 2003. Disponível em: <<http://www.econ-pol.unisi.it/pubdocenti/lec1.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

_____. Endogenous technical change with externalities in a classical growth model. **Journal of Economic Behavior & Organization**, Vol. 52, ed. 2, pp. 167–189, Nova York, Outubro, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268103000209>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

FRANÇOIS, J. S. **Progrès technique dans l'économie haïtienne, 1973-2008**. Texto para Discussão, 2015. Disponível em: <<http://www.maghaiti.net/progres-technique-dans-leconomie-haitienne-1973-2008/>> acesso em 24 de janeiro de 2016.

HARROD, R. F. An Essay in Dynamic Theory. **The Economic Journal**, Vol. 49, n° 193, Wiley-Blackwell, March, 1939. Disponível em: <<http://piketty.pse.ens.fr/files/Harrod1939.pdf>>. Acesso em: 22. Jan. 2015.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. **Induced Innovation in Agricultural Development**. Food Policy, Discussion Paper, Vol. 2, n° 3, Minnesota, August 1977. Disponível em: <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAQ423.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2015.

_____. **Induced technical and institutional change Evaluation and reassessment: two chapters**. Economic Development Center, Bulletin n° 93-1, , Department of Agricultural and Applied Economics, St. Paul, University of Minnesota, February, 1993. Disponível em: <<http://purl.umn.edu/7479>>. Acesso em: 08 jul. 2015.

HICKS, J. R. **The Theory of Wages**. London: Macmillan, ISSN 978-0333027646, 1932.

HILL, R. C.; GRIFFITHS, W. E.; JUDGE G. G. **Econometria**, 2 ed., São Paulo: Saraiva, 2003. ISBN: 85-02-0394-0

JONES, C. I. **Introdução à teoria do crescimento econômico**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

_____. **The Shape of Production Functions and the Direction of Technical Change**. Hong Kong Institute for Monetary Research, Berkeley and NBER, Version 2.0, 2004. Disponível em: <http://www.hkimr.org/uploads/seminars/280/sem_paper_0_149_jones-paper270605.pdf> acesso em 19 de janeiro de 2016.

JONES, H. G. **Modernas teorias do crescimento econômico: uma introdução**. São Paulo: Atlas, 1979.

KALDOR, N. A Model of Economic Growth. **The Economic Journal**, Vol. 67, No. 268, pp. 591-624, 1957. Disponível em: <static.ow.ly/docs/k57_SHZ.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2016.

KENNEDY, C. Induced bias in the theory of innovation and the theory of distribution. **The Economic Journal**, Vol. 74, No. 295, p. 541-547, Wiley-Blackwell, 1964. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2228295>>. Acesso em: 02 out. 2014.

KURZ, H. D. Technical progress, capital accumulation and income distribution in Classical economics: Adam Smith, David Ricardo and Karl Marx. **European Journal of the History of Economic Thought**, December, 17:5, pp. 1183–1222. 2010. Disponível em: <http://www.uni-graz.at/schumpeter.centre/download/summerschool09/Literature/Kurz/Technical_change.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2016.

MACKINNON, J. G. **Numeral Distribution Functions of Unit Root and Cointegration Tests**. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 11, Nr. 6, pp. 601-618, Wiley-Blackwell, 1996. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/pdf/2285154.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

MARQUETTI, A. A. **Analyzing historical and regional patterns of technical change from a classical-Marxian perspective**. *Journal of Economic Behavior & Organization*, Estados Unidos, v. 52, n.2, p. 191-200, 2003.

_____. **Brazilian economy under neoliberal capitalism: technical change, income distribution and institutional change**. In: 30 th Annual Conference of Eastern Economic Association, 2004, Washington. Eastern Economic Association 30 th Annual Conference, 2004. v. 1. p. 1-25.

_____. **Do rising real wages increase the rate of labor-saving technical change? Some econometric evidence**. *Metroeconomica*, v. 55, ed. 4, p. 432-441, November 2004. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-999X.2004.00201.x/epdf>>. Acesso em: 02 out. 2014.

_____. **Crescimento econômico na tradição neoclássica: uma breve síntese**. Porto Alegre, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2003.

MARQUETTI, A. A.; PORSSE, M. C. S. **Patrones de progreso técnico en la economía brasileña, 1952-2008**. CEPAL Review (Print), v. 113, p. 61-78. 2014.

MARQUETTI, A.; VIALI, L. Princípios e aplicações de regressão local. **Análise Econômica (UFRGS)**, v. 22, n. 42, p. 253-277, Porto Alegre, 2004.

MARX, K. **O Capital**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

MATOS, O. C. **Econometria básica: teoria e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000. ISBN 85-224-2394-6.

MOHUN, S. Aggregate capital productivity in the US economy 1964–2001. **Cambridge Journal of Economics**, Vol. 33, pp. 1023–1046, 2009.

PEREIRA, L. B. Os tipos de progresso técnico. Capítulo III. **Lucro, acumulação e crise**. 1986.

PICHARDO, G. M. **Economic Growth Models and Growth Tendencies in Major Latin American Countries and in the United States, 1963-2003**. *Investigación Económica*, LXVI, octubre-diciembre, 2007 Disponível em: <<http://redalyc.org/articulo.oa?id=60126202>>. Acesso em: 03 abr. 2016. ISSN 0185-1667.

_____. **Growth Tendencies in Main Latin American Economies, 1963-1998**. Congrès Marx International IV, UNAM, Section Economie, October, 1, 2004. Disponível em: <<http://actuelmarx.u-paris10.fr/m4mendoz.htm>>. Acesso em 23 mar. 2016.

_____. **Theoretical Technical Change Patterns and Technical Change during the Neoliberal Era (1980-2013)**. Paper proposed to be presented at 12th International Conference. *Developments in Economic Theory and Policy*, Bilbao, 2015.

RICARDO, D. **Princípios de Economia Política e Tributação**. São Paulo: Abril Cultural, 1982 (Os Economistas).

ROBINSON, J. The Classification of Inventions. **The Review of Economic Studies**, Vol. 5, No. 2, pp. 139-142. 1938.

RUTTAN, V. W. Induced innovation, evolutionary theory and path dependence: sources of technical change. **The Economic Journal**, Royal Economic Society, USA, 1997.

SALTER W. E.G. **Productivity and Technical Change**. Science, 2 Ed., Vol. 134, Department of Applied Economics, Monograph, No. 6, Cambridge University Press, New York, 1960.

SAMUELSON, P. A. A theory of induced innovation along Kennedy - Weizsdicker lines. **Review of Economics and Statistics**, 47, 343-56. 1965.

SASAKI, H. Classical biased technical change approach and its relevance to reality. **International Review of Applied Economics**. Vol. 22, n. 1, pg.77-91, Japão. 2008.

SCHUMPETER, J. A. **The Theory of Economic Development**. Department of Economic Harvard University, USA, 1978.

SIMON, C. P.; BLUME, L. **Matemática para economistas**. Trad. Claus Ivo Doering. Porto Alegre: Bookman, 2004. ISBN 978-85-363-0307-9.

SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SOLOW, R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function. **The Review of Economics and Statistics**, Vol. 39, No. 3, pp. 312-320, The MIT Press, 1957. Disponível em: <<http://faculty.georgetown.edu/mh5/class/econ489/Solow-Growth-Accounting.pdf>> acesso

em 21 de janeiro de 2016.

_____. A Contribution to the Theory of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, nº LXX, 1956.

SOUZA, N. J. de. **Desenvolvimento Econômico**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

SOUZA, J. P. **Real wages and labor-saving technical change: evidence from a panel of manufacturing industries in mature and labor-surplus ecionomies**. Department of Economics, University of Massachusetts-Amherst, 2014.

USLT – United States Long Term. Disponível em: <<http://www.jourdan.ens.fr/levy/uslt4x.txt>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

VIOLANT, G. L. Skill-Biased Technical Change. **The New Palgrave Dictionary of Economics**, 2 Ed., New York University, 2008.

VOANA, A. **Profit rate dynamics, income distribution, structural and technical change in Denmark, Finland and Italy**. Structural Change and Economic Dynamics, v. 22, p. 247–268, University of Verona, Palazzina 32 Scienze Economiche, Verona, Italy, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0954349X11000403>>. Acesso em: 30 mar. 2016.