

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

**O crescimento econômico da China e o consumo de carvão para
geração de energia**

Michel Augusto Santana da Paixão

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2017**

Michel Augusto Santana da Paixão
Economista

O crescimento econômico da China e o consumo de carvão para geração de energia

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **SÍLVIA HELENA GALVÃO DE MIRANDA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Paixão, Michel Augusto Santana da

O crescimento econômico da China e o consumo de carvão para geração de energia / Michel Augusto Santana da Paixão. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

75 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. China 2. Carvão 3. Estoque de capital 4. Crescimento 5. Modelo VAR-VEC I. Título.

Dedico a todos aqueles que foram responsáveis por minha formação acadêmica, em especial meus pais.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, pois primeiramente foi Ele quem me deu força e paciência para que este trabalho se realizasse. Gostaria de agradecer aos meus pais Secunda Fátima Santana da Paixão e Rafael da Paixão, pelos seus imensos esforços e sacrifícios, pois sem eles não teria chegado até aqui. Agradeço especialmente a minha noiva Tatiane Giraldi de Sá, por seu amor, carinho e apoio que foram e são fundamentais em horas difíceis.

Quero agradecer também ao pessoal da casa, e os que passaram por ela, “república Xibiu”, por me acolher e me proporcionar boas risadas, obrigado André Ramos Sanches (Véio), Rafael Jacomini (Cabelo), Gabriel Bruno de Lemos (Salame), Thiago Barbosa Diniz (Bahianinho), Javier Bernal (O colombiano), André Bastos (Carioca), Carlos Onate Paredes, Thiago Gentil Ramires (Noinha), Erik Augusto Barreto Júnior (Robadão), Alexandre (francês), Anderson Peron (Paranázinho), Lian Barbieri (Sã), Vanclei Zanin (Mula em carruola), Lucas Cunha Santana (Ferinha), Henrique Giolia (Chupeta).

Com relação aos agradecimentos especiais, quero agradecer ao Professor Werner Baer que me concedeu a oportunidade de fazer uma parte do meu doutorado no exterior, oportunidade esta extremamente enriquecedora, também Vanclei Zanin, Leandro Meyer, Professor Humberto Espolador e Alexandre Hattner Menegário, por me ajudarem, especialmente o Vanclei, com a utilização do software econométrico e interpretação dos resultados deste trabalho, e pelas boas conversas e caminhadas tanto na ESALQ quanto nas mesas de bares e restaurantes de Piracicaba e região, trocando ideias e discutindo sobre a vida. Quanto ao Leandro Meyer e o Professor Humberto, agradeço a ajuda na construção da variável de capital utilizada nesse trabalho, sem a qual não seria possível fazer o modelo econométrico. Gostaria de agradecer o Professor Jerry D’ávila diretor do Instituto Lemann, que prontamente se ofereceu para substituir o Professor Werner na minha coorientação no Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior. Agradeço também a CAPES e sua equipe técnica pela concessão da bolsa do PDSE que foi fundamental para que eu pudesse ter essa enriquecedora experiência no exterior.

Agradeço a minha orientadora, a professora Dra. Sílvia Helena Galvão de Miranda, que me orientou com grande presteza e dedicação.

Também, e não menos importante, gostaria de agradecer imensamente (em memória) o Professor Werner Baer, que abriu as portas para que eu pudesse fazer parte do doutorado na

Universidade de Illinois. Professor Werner sempre foi muito prestativo e bondoso, considerado por muitos pós-graduandos um herói anônimo, uma vez que ajudou no desenvolvimento e abrilhantamento do pensamento econômico brasileiro.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	6
RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIGLAS	13
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Aspectos Econômicos	16
2 OBJETIVOS	21
2.1 Hipótese	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 Crescimento econômico e energia	23
3.2 Consumo total de energia primária chinesa	27
3.3 Emissões de CO ₂ na China, perspectivas e políticas para redução das emissões de GEE e promoção de fontes alternativas.....	33
4 MODELO TEÓRICO, METODOLOGIA E DADOS	41
4.1. Modelo Teórico e Função de Produção Cobb e Douglas.....	41
4.1.1 Construção da variável estoque de capital	43
4.2 Metodologia	44
4.2.1 Modelo Auto–Regressivo Vetorial (VAR)	44
4.2.2 VAR Estrutural	46
4.2.3. Teste de Raíz Unitária.....	47
4.2.4. Modelos de Correção de Erro e Teste de Co–integração.....	48
4.2.5 Método de Engle e Granger	49
4.2.6 Método de Johansen.....	50
4.3 Fontes de dados.....	52
4.4 Análise do comportamento das variáveis no período analisado	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1.1 Resultados dos testes.....	56
5.1.2. Modelo Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erros – VEC	58
5.1.2.1 Matriz de relações contemporâneas	58

5.1.2.2 Funções impulso-resposta	60
5.1.2.3 Decomposição histórica da variância dos erros de previsão	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67
ANEXO	71

RESUMO

O crescimento econômico da China e o consumo de carvão para geração de energia

Nas últimas décadas, a China obteve um crescimento econômico robusto. Dados mostram que o produto chinês, entre 1980 e 2010, teve uma média anual de crescimento de 9,5%. Esse aumento do produto permitiu que as condições de vida de milhões de pessoas melhorassem via incremento da renda e consumo. No entanto, esse crescimento também produziu desequilíbrios ambientais, uma vez que a consequente modernização se deu com base no elevado consumo de carvão. Atualmente a China consome quase 50% do carvão mundial, sendo a primeira em produção de energia elétrica e emissões absolutas de CO₂, sendo que o carvão possui um papel preponderante em sua matriz energética. Frente a essa realidade, este trabalho propõe um modelo para analisar o papel do carvão como variável de energia no crescimento econômico chinês. A abordagem teórica baseou-se na função de produção do tipo Cobb-Douglas, que foi estimada por um modelo VAR-VEC (Modelo de Autoregressão Vetorial com correção de Erro). O período de análise compreende 1980 a 2010. Busca-se relacionar o peso do carvão, capital e trabalho com o comportamento do PIB chinês. A variável capital foi testada de duas formas distintas. O primeiro modelo utilizou uma variável de capital construída, baseada em Conesa et al. (1999), enquanto que o segundo modelo utilizou a formação bruta de capital fixa, variável utilizada para representar o estoque de capital. Os resultados dos dois modelos apontam que carvão, capital e trabalho apresentaram um bom poder de explicação sobre o crescimento do PIB chinês em ambos os modelos. Porém, o modelo com a variável de capital construída mostrou melhores resultados para os coeficientes de relações contemporâneas e elasticidades impulso-resposta. Observou-se também que, em ambos os modelos, o carvão teve uma importância considerável na determinação do PIB chinês quando analisado pela função de impulso-resposta.

Palavras-chave: China; Carvão; Estoque de capital; Crescimento; Modelo VAR-VEC

ABSTRACT

China's economic growth and coal consumption for power generation

In recent decades, China has achieved robust economic growth. Data show that the Chinese product between 1980 and 2010 had an average annual growth of 9,5%. This increase in output allowed the living conditions of millions of people would improve through increased income and consumption. However, this growth has also produced environmental disturbances, because the resulting modernization was made based on high coal consumption. Currently China consumes nearly 50% of world coal, the first production of electric power and absolute CO₂ emissions, with coal has a major role in its energy matrix. Facing this reality, this work proposes a model to analyze the role of coal as an energy variable in Chinese economic growth. The theoretical approach was based on the production function of the Cobb-Douglas, which was estimated by a model a VAR-VEC (Model autoregression Vector with error correction). The analysis period covers 1980 to 2010. The aim is to relate the weight of coal, capital and work with the Chinese GDP behavior. The capital variable was tested in two ways. The first model employed a variable capital constructed based on Conesa et al. (1999), while the second model used the gross formation of fixed capital, variable this commonly used for capital stock. The results of both models indicate that coal, capital and labor had a good explanatory power of the Chinese GDP growth in both models. However, the model with the built capital variable showed better results for the contemporary relations coefficients and impulse response elasticities. It was also observed that in both models, coal had a considerable importance in determining the Chinese GDP when analyzed by the impulse response function.

Keywords: China; Coal; Capital stock; Growth; Model VAR-VEC

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Evolução do crescimento do PIB chinês (em trilhões de US\$, constantes a valores de 2010) 1980-2010	16
Figura 2 –	Consumo de cimento dos EUA em 100 anos <i>versus</i> consumo de cimento da China em 3 anos	18
Figura 3 –	Total de energia primária consumida na China, por fonte, em 2011	28
Figura 4 –	Comparação entre energia elétrica produzida nos EUA e na China	30
Figura 5 –	Capacidade instalada de geração de energia elétrica da China em 2011 por fonte	31
Figura 6 –	Capacidade instalada projetada de geração de energia elétrica da China em 2040 por	fonte 32
Figura 7 –	Consumo de carvão na China <i>versus</i> consumo de carvão no restante mundo, no período 2000-2011	33
Figura 8 –	Total de eletricidade gerada oriunda de fonte renovável na China	35
Figura 9 –	Total de eletricidade renovável gerada não incluindo hidrelétricas da China	36
Figura 10 –	Total de eletricidade renovável gerada por fonte eólica, biomassa e solar da China	37
Figura 11 –	Evolução do crescimento do PIB chinês (em trilhões de US\$, em valores de 2010) 1980-2010	53
Figura 12 –	Evolução da variável estimada estoque de capital da China (em US\$ Milhões constantes de 2010) 1980-2010	53
Figura 13 –	Evolução do nível geral de emprego em milhares de pessoas na China de 1980 a 2010	54
Figura 14 –	Evolução do total de carvão consumido na China, de 1980 a 2010, em milhões de toneladas de petróleo equivalente	54

Figura 15 – Total de carvão consumido na China <i>versus</i> evolução do PIB a valores de 2010, no período 1980-2010	55
Figura 16 – Matriz de relações contemporâneas para o modelo empírico proposto	56
Figura 17 – Função impulso-resposta das variáveis do modelo proposto	61
Figura 18 – Decomposição histórica da variância dos erros de previsão do modelo proposto ...	62
Figura 19 – Valores previstos para o PIB chinês, em comparação com os valores efetivos 2000-2010	63
Figura 20 – Distribuição ordenada dos erros de previsão do modelo proposto	63
Figura 21 – Evolução da Formação Bruta de Capital Fixo (FBKF) da China (em US\$ Milhões constantes de 2010) 1980-2010	71
Figura 22 – Função impulso-resposta utilizando a FBKF	73
Figura 23 – Decomposição histórica da variância dos erros de previsão utilizando a FBKF ...	74
Figura 24 – Valores previstos para o PIB chinês, em comparação com os valores efetivos 2000-2010 com a FBKF	74
Figura 25 – Distribuição ordenada dos erros de previsão do modelo com FBKF	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Evolução das exportações e importações de carvão na China (milhões de toneladas)	29
Tabela 2 –	Emissões de CO ₂ per capita da China e EUA entre 1990 e 2011 (toneladas de CO ₂ per capita)	34
Tabela 3 –	Resultados dos testes de raiz unitária de Elliot-Rothenberg-Stock (DF-GLS) para as variáveis do modelo proposto	57
Tabela 4 –	Resultados dos testes de co-integração para o modelo proposto	58
Tabela 5 –	Coefficientes estimados para a matriz de relações contemporâneas do modelo proposto	58
Tabela 6 –	Resultados dos testes de raiz unitária de Elliot-Rothenberg-Stock (DF-GLS) para as variáveis do modelo com FBKF	72
Tabela 7 –	Resultados dos testes de co-integração para o modelo com FBKF	72
Tabela 8 –	Coefficientes estimados para a matriz de relações contemporâneas do modelo com FBKF	73

LISTA DE SIGLAS

ADF	Augmented Dickey-Fuller
AIC	Critério de Akaike
BIC	Critério de Schwartz
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CO ₂	Dióxido de Carbono
COMUT/IBICT	Comutação Bibliográfica do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
DF-GLS	Dickey-Fuller Generalized Least Square
EIA	U. S. Energy Information Administration
EUA	Estados Unidos da América
FMI	Fundo Monetário Internacional
GEE	Gases do Efeito Estufa
GW	Giga Watt
HQ	Critério de Hannan-Quinn
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
JSTOR	Journal Storage
MAIC	Critério de Akaike Modificado
MQG	Mínimos Quadrados Generalizados
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
OMC	Organização Mundial do Comércio
PCC	Partido Comunista Chinês
PIB	Produto Interno Bruto
RATS	Regression Analysis of Time Series
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
TWh	Terawatts-hora
VAR	Vetor Auto-regressivo
VEC	Vetor de Correção de Erros

1 INTRODUÇÃO

A consolidação da China como uma potência econômica nas últimas décadas vem impressionando o mundo, tanto pelas transformações ocorridas quanto por sua influência em transformar o mundo, deslocando centros produtivos tradicionais do ocidente para dentro do seu território. Do ponto de vista produtivo, isso pode ser visto como uma vantagem, uma vez que a China mostra condições favoráveis para a atração de investimentos produtivos, que favorecem a importação de matérias primas e a exportação de produtos industriais.

Do ponto de vista de consumo de recursos naturais, o relevante crescimento econômico chinês nas últimas décadas acarretou em aumento considerável da demanda por carvão. Se por um lado a China tornou-se a segunda maior economia do mundo, por outro ela acabou se transformando, em termos globais, na maior consumidora de carvão e emissora absoluta de CO₂.

Isto posto, surge o problema sobre o impacto desse crescimento, uma vez que a demanda por carvão da China é elevada, respondendo por quase metade do carvão mineral consumido no mundo, tendo em 2012 um consumo de 3,8 bilhões de toneladas, levando à motivação deste estudo, que busca verificar como se dá a relação entre o crescimento econômico chinês e a utilização do carvão como matéria prima diretamente na geração de energia, sendo o carvão o maior emissor de CO₂.

Dessa forma, busca-se contribuir com a literatura econômica, na identificação de como o carvão mineral impactou no crescimento do PIB chinês, e na verificação se há indícios de uma relação entre carvão e o estoque de capital e trabalho, a fim de observar se o carvão ajuda na explicação das variações do PIB, no período que compreende 1980 a 2010. Para tanto, este trabalho propõe empregar uma função de produção do tipo Cobb-Douglas, baseada em Bloch et. al. (2012), que incorpora o carvão, além das tradicionais variáveis capital e trabalho, como determinantes do nível do produto. A inclusão do carvão nesse modelo justifica-se como uma variável para representar a energia elétrica, conforme justificado por Govindaraju e Tang (2013), Bloch et. al. (2012), Li e Leung (2012), já que este é um insumo que se mostra vital para o crescimento econômico chinês como fonte de energia. Conforme ressalta Kraft e Kraft (1978) e Jumbe (2004), a energia elétrica é um componente essencial para o crescimento econômico.

No entanto, diferentemente de Bloch et. al. (2012), para o capital, emprega-se uma variável estoque construída com base em Conesa et. al. (1999), ao mesmo tempo que se

contrói um segundo modelo usando a Formação bruta de capital fixa, disponível no Banco Mundial. O teste do modelo com a variável estoque de capital construída pode ser considerado o ponto inovador do presente estudo, uma vez que permite a análise comparativa do comportamento das variáveis nos dois modelos.

O interesse neste tema é que há uma preocupação mundial em relação aos efeitos das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). O carvão mineral é uma das fontes de energia com maior impacto poluidor. Segundo a ANEEL (2008), o carvão é responsável por cerca de 30% a 35% do total de emissões de CO₂ no mundo. Assim, observa-se que a China tem o carvão como principal fonte de energia, respondendo por 69% da energia elétrica produzida (EIA, 2014).

Frente a essa realidade, a China figura como a maior emissora absoluta de CO₂ do mundo atingindo 9,7 bilhões de toneladas em 2011. Desse total 8,1 bilhões de toneladas de CO₂ emitidas advem do consumo de energia, com 6,6 bilhões de toneladas vindas do consumo de carvão (EIA, 2016).

1.1 Aspectos Econômicos

A China figura como uma potência econômica mundial nas últimas décadas. Segundo dados do Banco Mundial (2014), o PIB chinês apresentou uma taxa de crescimento média anual, entre 1980 e 2010, de 9,5%. A figura 1 mostra a evolução do crescimento do PIB chinês nesse período, em milhões de US\$ constantes a valores de 2010.

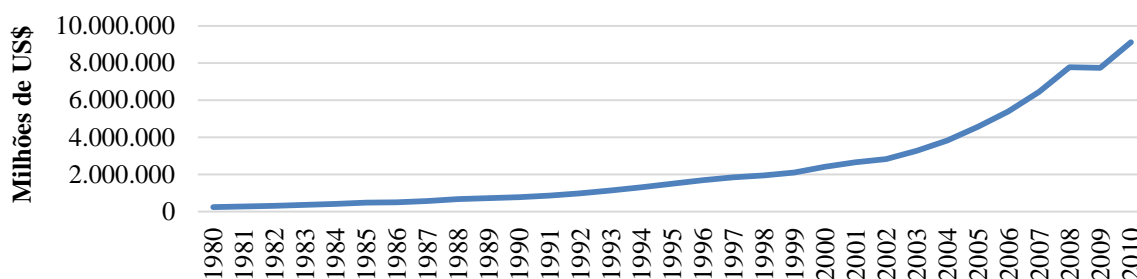


Figura 1 – Evolução do crescimento do PIB chinês (em trilhões de US\$, constantes a valores de 2010) 1980-2010.

Fonte: Banco Mundial (2014).

Para Prasad (2004), as causas do crescimento econômico chinês estão associadas às reformas econômicas iniciadas em 1978, denominadas “Política de Portas Abertas”, implementada por Deng Xiaoping. Essa política mudou a orientação interna do Partido Comunista Chinês (PCC) na direção de um desenvolvimento econômico pró-capitalista. Tal

mudança significou a transição da China para uma economia cada vez mais capitalista e integrada internacionalmente, embora ainda com uma intervenção forte do Estado em muitas atividades econômicas, bem como com a manutenção de um regime político fechado e centralizado sob pleno domínio do PCC.

Com base em Prasad (2004), as reformas na China podem ser divididas em cinco fases. A primeira fase (1978-84) consistiu em reformas na agricultura, caracterizadas por mudanças no setor agrícola, autorizando empresas estatais a terem lucro como forma de melhorarem o seu desempenho, o que gerou grande elevação da produtividade no campo. Segundo o autor, o sucesso da primeira fase motivou a segunda (1984-1988), caracterizada por reformas nos setores urbano e industrial, incluindo alguma liberalização das políticas de fixação de preços e salários, a introdução de taxaço sobre as empresas e a quebra do sistema monobancário.

Porém, a liberalização de preços promovida na China provocou um processo inflacionário, levando o governo chinês, já na terceira fase das reformas (1988-1991), a reintroduzir o controle de preços, conduzindo à adoção de políticas monetárias contracionistas. Essas medidas foram eficazes no controle inflacionário, porém produziram efeitos negativos para a economia, com prejuízos ao setor estatal e aumento das dívidas das empresas.

Já na quarta fase (1992-1997), há a retomada de algumas políticas de estímulo ao crescimento, em que a desaceleração econômica, registrada na fase anterior, foi superada. Finalmente, a quinta e última fase (a partir de 1998) caracteriza-se por uma maior abertura econômica e integração à economia mundial. Para Prasad (2004), a caracterização dessas medidas está na entrada da China na Organização Mundial do Comércio (OMC), em novembro de 2001.

As reformas bem sucedidas introduzidas por Deng Xiaoping podem ser vistas como uma “mistura” entre elementos do socialismo e do capitalismo, “mistura” esta caracterizada por uma economia aberta com um sistema político fechado (PRASAD, 2004, p. 2). Essa visão proporcionou à China, além das altas taxas de crescimento econômico, a retirada de 400 milhões de pessoas da linha da pobreza, transformando o país no maior exportador mundial de industrializados, consolidando-se como uma das principais potências econômicas do início do século XXI (REVISTA PÁGINA 22, 2015, p. 24).

Em virtude desse crescimento, a China vem passando por importantes transformações que propiciaram um aumento na renda *per capita*, alterando e elevando os padrões de consumo dos chineses (SANTOS et. al, 2012). Essas transformações nos padrões de consumo

da China estão também associadas a um deslocamento de grandes contingentes para os meios urbanos, causando impactos na demanda por infraestrutura, incluindo energia elétrica (MICHIEKA e FLETCHER, 2012).

Por exemplo, segundo a International Cement Review (2013), a demanda global de cimento da China evoluiu de 39%, em 2002, para 58% em 2012. A título de ilustração da magnitude desta demanda, segundo Ricam (2014), de 2011 a 2013, a China consumiu 6,6 gigatoneladas de cimento, enquanto os EUA consumiram 4,5 gigatoneladas de cimento (Figura 2) num período de 100 anos, entre 1901 e 2000.

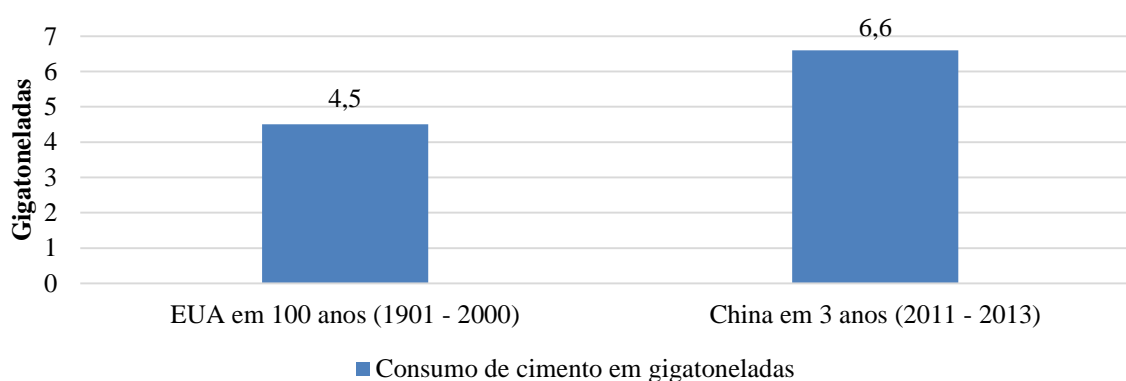


Figura 2 – Consumo de cimento dos EUA em 100 anos (1901-2000) *versus* consumo de cimento da China em 3 anos (2011-2013).

Fonte: Ricam (2014). Disponível em: <<http://ricamconsultoria.com.br/news/infografico-imagens/uso-de-cimento-usa-x-china>>. Acesso em: 17 de ago. de 2014.

Para U. S. Energy Information Administration (EIA) (2014), a China está prestes a se tornar também a maior importadora líquida e a maior consumidora de petróleo do mundo. A razão para isso está não somente na sua demanda crescente, mas também na presença cada vez maior de companhias chinesas no setor de óleo e gás. Adiciona-se a esta conjuntura, a promoção de reformas domésticas nesse setor para que os preços internos chineses reflitam os preços internacionais.

Segundo essa mesma fonte, a importação de gás natural via gasodutos também cresceu nos últimos anos. A China é, ainda, a maior consumidora e importadora de carvão no mundo, para a produção de energia elétrica, o que levou o país a alcançar o topo do *ranking* mundial de geração de energia em 2011.

Embora dados do Fundo Monetário Internacional (FMI) (2014) mostrem que a China tenha desacelerado o ritmo de expansão de sua economia, com uma queda no crescimento do PIB de 10 % entre 2000 e 2011, para 7,7% entre 2012 e 2013, o país é o mais populoso do mundo e sua economia ainda cresce a uma taxa considerável. Essa desaceleração se deu

motivada por reflexos da crise de 2008, forçando o governo chinês a lançar um pacote de estímulos e medidas de controle inflacionário. Contudo, nos próximos anos, dada a grande população chinesa, cuja renda per capita ainda cresce, e cujos níveis de consumo devem continuar se alinhando à média mundial, assim como um processo de migração rural que deve persistir, pode-se afirmar que o desafio de ofertar energia, a baixo custo e mais sustentável, nesse país, é um dos mais importantes para seu futuro.

2 OBJETIVOS

Este estudo tem, por objetivo geral, compreender de que maneira o crescimento do produto da China está associado com o consumo de carvão, sendo este utilizado como variável de energia e discutir as consequências do uso intenso desse recurso mineral no país.

A justificativa para a ênfase nessa variável está no fato de o carvão ter uma participação majoritária na matriz energética chinesa como fonte de geração de energia, sendo este o maior emissor de CO₂. Outro ponto importante, que justifica este estudo, é o emprego de uma variável de capital construída, sendo uma inovação proposta neste trabalho, uma vez que os estudos dessa área utilizam a formação bruta de capital fixo como variável de capital.

Especificamente, pretende-se:

- a) Discutir a introdução do consumo de energia no âmbito do arcabouço da Teoria da Produção;
- b) Estimar uma função de produção do tipo Cobb-Douglas para avaliar a importância das variáveis tradicionais, capital e trabalho, e adicionalmente evidenciar o papel da energia para o crescimento econômico;
- c) A partir dos resultados obtidos, propor e discutir alternativas no sentido de se reduzir a dependência chinesa em relação ao carvão, sem que essas alternativas venham a prejudicar o crescimento econômico observado nos últimos anos naquele país, bem como analisar as medidas, já em andamento, nessa mesma direção de diminuir a dependência do carvão;
- d) Comparar duas formas distintas de incorporação da variável capital no modelo estimado, materializadas em formação bruta de capital fixo, e em uma variável de capital construída, discutindo suas propriedades quanto ao propósito de explicar o crescimento do PIB chinês.

2.1 Hipótese

Como hipótese do presente estudo, supõe-se que a energia tenha um papel importante no crescimento econômico chinês, associado com capital e trabalho; e que a variável de capital construída tenha um melhor ajuste na explicação da variação do PIB associada com a energia e o trabalho, do que a tradicional variável de formação bruta de capital fixo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Crescimento econômico e energia

O interesse em se observar os efeitos do consumo de energia sobre o PIB adveio, sobretudo, a partir das preocupações em se reduzir as emissões de GEE, quando os países que assumem compromissos de redução de GEE buscam entender se esta redução, via diminuição no consumo de energia, poderia afetar negativamente o seu PIB (FANG, 2011). Segundo Stern (2004) a energia possui um importante papel na promoção do crescimento econômico, uma vez que é um insumo básico para todo o conjunto industrial. Também, pode-se destacar sua importância pelo seu crescente uso pela população, em especial a urbana (MICHIEKA e FLETCHER, 2012).

Para Apergis e Payne (2010), existem quatro hipóteses sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico. A primeira hipótese verifica-se quando o consumo de energia possui, direta ou indiretamente, um papel no crescimento econômico, atuando de forma complementar, junto com capital e trabalho. A confirmação dessa hipótese se dá quando o aumento no consumo de energia causa uma elevação no produto. A segunda hipótese é definida como conservação, segundo a qual determinadas políticas de conservação de energia não possuem efeito negativo no PIB. A terceira hipótese é denominada de hipótese de neutralidade, que considera o consumo de energia como um componente pouco significativo para a variação do PIB. E a quarta, e última, consiste na hipótese de *feedback* que afirma que o consumo de energia está interrelacionado com o PIB, servindo de complemento mútuo, existindo assim uma relação de causalidade bidirecional entre essas variáveis.

Segundo Govindaraju e Tang (2013), Bloch et. al. (2012), Li e Leung (2012), Michieka e Fletcher (2012), Fang (2011), Apergis e Payne (2010), Chontanawat et. al. (2006), Jumbe (2004), Stern (2000), Stern (1993) e Kraft e Kraft (1978), as pesquisas realizadas em torno da questão da relação da energia com o crescimento econômico vêm sendo feitas no sentido de prover subsídios aos formuladores de política, no intuito de planejarem melhores estratégias com relação à produção e economia de energia, sem prejuízo ao crescimento econômico.

Segundo Stern (2000), a energia pode ser um fator limitante para o crescimento econômico, ou o que para Jumbe (2004) significa que se a energia causa crescimento econômico, logo a sua conseqüente escassez afeta negativamente o produto. Os pioneiros nessa área de pesquisa foram Kraft e Kraft (1978), que buscavam uma relação de causalidade

entre consumo de energia e produto para os EUA no período do pós-guerra, entre 1947-1974, tendo verificado uma relação de causalidade unidirecional do produto para energia.

Para Bloch et. al. (2012), as pesquisas nessa área estudam tanto países desenvolvidos quanto países em desenvolvimento, mas ressaltam que esses estudos divergem em suas conclusões, obtendo interpretações ambíguas quanto a relações entre consumo de energia e crescimento econômico, principalmente no que concerne a relações de causalidade, já que são encontradas diferentes direções de causalidade ou ausência dela.

Chontanawat et. al. (2006), que investigaram as relações de causalidade entre PIB e energia para 30 países membros da OCDE e 78 países não membros, abrangendo o período entre 1947 e 1988, também argumentam que não há um consenso em torno da relação existente entre energia e produção, embora concordem que a energia possui um papel importante no crescimento econômico. Os principais resultados de Chontanawat et. al. (2006) foram registrar uma maior prevalência de causalidade do consumo de energia para PIB nos países desenvolvidos da OCDE, comparados com países em desenvolvimento não-membros da OCDE. Isto implica que reduções no consumo de energia, no intuito de mitigar as emissões de GEE, que poderiam ter impactos negativos maiores sobre o PIB dos países desenvolvidos em comparação ao dos em desenvolvimento.

Alguns estudos investigando a relação de causalidade entre energia e PIB não constataram tal relação. É o caso dos trabalhos de Yu e Hwang (1984), que analisaram dados dos EUA, de 1947 a 1979, e de Stern (1993) que também analisou dados para os EUA, porém, de 1947 a 1990. Segundo Bloch et. al. (2012), há vários trabalhos com conclusões ambíguas ao examinarem a existência de causalidade energia – PIB e vice-versa, para diversos países. Citam-se, dentre esses estudos, Asafu-Adjaye (2000) que examinou as relações entre produto e energia para Índia, Indonésia, Filipinas e Tailândia, construindo um modelo de três variáveis contendo energia, PIB e preços, e fazendo uso da causalidade de Granger e mecanismos de correção de erros. Estes autores encontraram uma relação causal unidirecional de energia para PIB para Índia e Indonésia, e causalidade bidirecional para Tailândia e Filipinas.

Bloch et. al. (2012) argumentam que essas diferenças podem estar relacionadas às diferentes metodologias empregadas e aos diferentes períodos de tempo analisados. Para Michieka e Fletcher (2012) os estudos nessa área empregam diferentes técnicas, econométricas e não econométricas, tendo como exemplo, neste último caso, estudos por georeferenciamento e imagens de satélite.

Sinton (2001) investigou os fatores e tendências que afetavam o consumo de energia na China, descobrindo que a reforma no sistema econômico e as políticas de mudanças na

indústria foram as peças-chave que afetaram a dinâmica do uso da energia na China. Zhou et. al. (2009) examinaram o consumo de energia das famílias em áreas rurais no norte da China, encontrando forte dependência de combustíveis fósseis nessas regiões, em especial do carvão, levando à sua deterioração ambiental nas mesmas. Cattaneo et. al. (2010), ao empregarem uma modelagem de séries temporais e econometria espacial, analisaram a demanda de carvão nas províncias da China, encontrando heterogeneidade e capturando a presença de autocorrelação espacial entre elas, além da existência de interdependência entre as províncias, tendo, ao fim, estimado um crescimento médio anual da demanda de carvão próximo de 2% nessas regiões.

O estudo de Akimoto et. al. (2006) fez uso de dados coletados por satélites para estudar o consumo de carvão e a emissão de CO₂ na China. Esses autores empregaram esses dados para investigar possíveis inconsistências entre as estatísticas de energia da China, comparadas com as estatísticas de energia da Agência Internacional de Energia, encontrando discrepâncias nos dados fornecidos pela Agência. Tang e La Croix (1993) analisaram o impacto da atividade econômica sobre o consumo de energia na China, usando dados em corte transversal para o nível de províncias. Lin Chan e Lee (1997), avaliando o período entre 1953 e 1994 e empregando um modelo de Vetor de Correção de Erros (VEC), buscaram estudar a reação da demanda de carvão na China, frente a mudanças no seu preço.

Também Jinke et. al. (2008) aplicaram o teste de causalidade de Granger para investigar as diferenças causais relacionadas com o consumo de carvão e PIB nos principais países membros da OCDE e nos não membros, entre 1980 e 2005, fazendo uso de séries temporais, e constataram relação de causalidade unidirecional do PIB para o consumo de carvão na China. Wang et. al. (2011) estimaram a relação entre emissões de CO₂, consumo de energia e crescimento econômico, usando dados em painel para 28 províncias chinesas. Seus resultados confirmaram relação de cointegração entre as três variáveis, além de encontrarem evidências de relação de causalidade bidirecional entre emissões de CO₂ e consumo de energia, bem como entre consumo de energia e crescimento econômico.

Bloch et. al. (2012), analisando dois períodos distintos, de 1977 a 2008, e de 1965 a 2008, examinaram as relações entre consumo de carvão e renda usando a abordagem do lado da oferta e demanda respectivamente, por meio de uma função de produção tipo Cobb-Douglas e fazendo uso de um Vetor de Correção de Erros (VEC). Os autores mostraram que a China possui uma relação de causalidade bidirecional no consumo de carvão e emissões de CO₂, o que evidencia uma séria dificuldade em reduzir as emissões de GEE pela diminuição

no consumo dessa fonte energética, uma vez que o carvão é amplamente empregado na geração de energia, o que comprometeria seu crescimento econômico.

Na mesma linha de estudo de Bloch et al. (2012), mas no sentido de prover subsídios para a conservação de energia e redução de emissões de GEE, Fang (2011), utilizando uma função de produção do tipo Cobb-Douglas e um MQO multivariado, estimou o impacto do aumento do consumo de energia de fontes renováveis sobre o PIB da China. Os resultados de Fang (2011) indicam que um aumento de 1% no consumo de energias renováveis eleva o PIB real chinês em 0,12% e o PIB *per capita* em 0,16%. Ele também encontrou que esse mesmo aumento de 1% no consumo de energias renováveis causa um impacto positivo de 0,44% na renda *per capita* das famílias do meio rural, e de cerca de 0,378% na renda *per capita* das famílias urbanas. Outro resultado interessante no trabalho de Fang (2011) foi ter verificado em duas das quatro equações estimadas, uma relação inversa entre produto e trabalho.

Outro estudo interessante foi o de Michieka e Fletcher (2012) que, utilizando a metodologia de Vetores Auto-Regressivos (VAR) e uma versão modificada do teste de Granger, investigou as relações entre população urbana, PIB real, produção de eletricidade e consumo de carvão, para o período de 1971 a 2009, encontrando relação causal no sentido do PIB real para o consumo de carvão. A análise da decomposição da variância de Michieka e Fletcher (2012) indicou que o tamanho da população urbana e o consumo de carvão têm efeitos sobre a variação da produção de eletricidade no período de previsão. Outra questão importante foi a constatação de uma relação negativa entre crescimento da população urbana e PIB no período analisado.

Semelhante aos resultados de Michieka e Fletcher (2012), no que concerne relações inversas entre população e PIB na China, citam-se os trabalhos de Cao et. al. (2012), e Jiang e Zhe (2010), que fizeram uso de metodologias distintas para analisar os efeitos da transição populacional e da urbanização chinesa.

O estudo de Govindaraju e Tang (2013) empregou uma modelagem de estimação de cointegração, no intuito de fornecer uma evidência mais conclusiva sobre o nexos entre emissões de CO₂, crescimento econômico e consumo de carvão na China e Índia, fazendo uso também de um exame causal entre essas variáveis por meio do teste de causalidade de Granger. Os resultados de Govindaraju e Tang (2013) apontam que as variáveis são cointegradas no caso da China, porém não no caso da Índia. Isto quer dizer que há uma relação de longo prazo entre emissões de CO₂, crescimento econômico e consumo de carvão na China. Além disso, o teste de causalidade para a China sugere uma forte evidência para causalidade unidirecional no sentido do crescimento econômico para emissões de CO₂, além

da existência de causalidade bidirecional entre crescimento econômico e consumo de carvão, assim como entre emissões de CO₂ e consumo de carvão no curto e no longo prazos. No caso da Índia, os autores encontraram apenas causalidade de curto prazo unidirecional de crescimento econômico para consumo de carvão para este país.

Michieka e Fletcher (2012) também ressaltam que existe um variado emprego de diferentes métodos nos estudos empíricos sobre o assunto, usando séries temporais. Os métodos mais utilizados são os dos modelos de cointegração com Vetores de Correção de Erros (VEC), Modelo Autorregressivo de Médias Móveis (ARIMA) e Vetor Auto-Regressivo (VAR). Outros fazem uso do estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) em corte transversal, e métodos de econometria espacial. Semelhantemente ao argumento de Bloch et. al. (2012), Michieka e Fletcher (2012) também destacam que a variabilidade nos resultados encontrados pode ser atribuída às diferenças nos métodos utilizados, e nos distintos períodos de tempo analisados.

O que se percebe, no entanto, é que os trabalhos que fazem uso de funções de produção, utilizam como variável para o capital a formação bruta de capital fixo que representa a soma de investimentos realizados em um determinado período. O problema do seu uso está no fato de que esta não leva em conta a taxa de depreciação e o acúmulo de capital ao longo do tempo. Assim, um ponto importante seria a introdução de *proxies* para a variável capital que possam fornecer um suporte mais adequado para a estimação de relações entre produto, trabalho e energia.

3.2 Consumo total de energia primária chinesa

Para a Revista Página 22 (2015), a China, nas últimas décadas, experimentou um grande processo de industrialização, tendo o carvão como fonte de energia preponderante. Segundo a EIA (2014), em 2011, 69% da energia elétrica produzida na China vinham do carvão, 18% petróleo, 6% de hidroelétricas, 4% de gás natural, 1% de fonte nuclear, e 1% de outras renováveis. A figura 3 mostra o total de energia consumida na China, por tipo de fonte, em 2011.

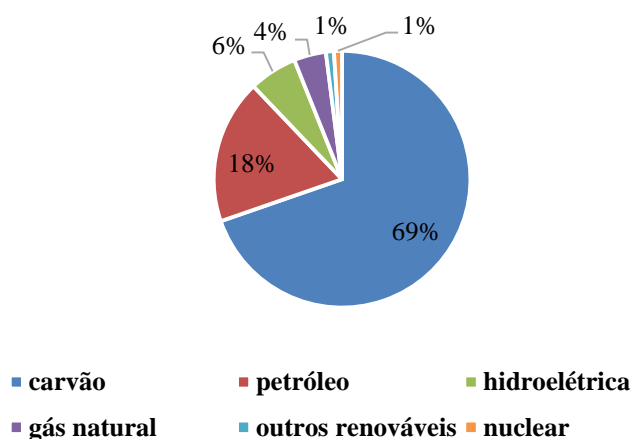


Figura 3 – Total de energia primária consumida na China, por fonte, em 2011.

Fonte: EIA (2014). Disponível em: < <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/China/china.pdf> >. Acesso em: 18 de ago. de 2014.

Como resultado do elevado consumo de carvão para produção de energia, a China é a maior emissora absoluta de GEE, em especial do CO₂. Em resposta a esse problema, o governo chinês planeja reduzir suas emissões de CO₂ em pelo menos 40%, entre 2005 e 2020, isto é, chegar em 2020 com níveis de emissões de 2005. Dentre as medidas propostas, destaca-se o investimento em fontes renováveis, aumentando a produção de energias menos poluentes, e reduzindo a dependência das fontes não renováveis como o carvão (REN21, 2015).

A China possui uma vasta reserva de carvão mineral, o que justifica a grande utilização desse recurso na geração de energia, sendo este o principal insumo na impulsão do crescimento econômico desse país nas últimas décadas (REVISTA PÁGINA 22, 2015). Assim, a China tem sido o maior produtor e consumidor de carvão mundial, o que tem gerado grandes problemas relacionados com as emissões de CO₂. De acordo com o EIA (2014), estima-se que, em 2011, as reservas de carvão chinesas eram de 126 bilhões de toneladas, a terceira maior do planeta, atrás dos EUA e da Rússia, equivalendo a cerca de 13% das reservas mundiais.

Em 2012, existiam 28 províncias na China que produziam carvão, sendo as províncias de Shanxi, Mongólia Interior, Shaanxi e Xinjiang as que possuem as maiores reservas (EIA, 2014). Praticamente todas as grandes minas de extração de carvão são estatais, estimando-se que existam cerca de 12 mil que produzam carvão betuminoso, principalmente o antracito e o linhito. Esses elementos compõem o chamado carvão-vapor, utilizado principalmente na produção de energia elétrica e de calor na indústria, enquanto o carvão de coque é utilizado na siderurgia para a fabricação de aço. Grande parte das reservas do chamado carvão-vapor

encontram-se nas regiões norte central e noroeste, enquanto que as reservas de coque estão localizadas principalmente em regiões centrais e costeiras da China.

Em 2011, a China consumiu cerca de 3,8 bilhões de toneladas de carvão, o que representa cerca de quase a metade do consumo total mundial, tendo mais que dobrado quando comparado ao nível absorvido em 2000, que era de 1,5 bilhão de toneladas. Além do carvão ser utilizado na produção de energia elétrica, o setor industrial é responsável por 45% do uso desse insumo, utilizado na siderurgia e produção de cimento. Na China, o consumo de carvão geralmente acompanha o crescimento econômico, tanto na demanda por energia quanto no aumento da produção industrial, o que já foi evidenciado por muitos estudos tais como Govindaraju e Tang (2013), Michieka e Fletcher (2012) e Bloch et. al. (2012) e outros. Dessa forma, o EIA (2014) projeta um aumento na quota de consumo de carvão para produção de energia elétrica, de 50% em 2010 para 57% em 2040.

Devido ao aumento na demanda por carvão na China, em 2009, ela passou a ser uma importadora líquida desse mineral. A tabela 1 mostra esse comportamento das importações e exportações de carvão da China, de 2008 a 2012. Observa-se que em 2012 o total das importações líquidas de carvão alcançaram mais de 303 milhões de toneladas. Atualmente Indonésia e Austrália são os maiores exportadores de carvão para esse país.

Tabela 1 – Evolução das exportações e importações de carvão mineral na China (milhões de toneladas)

Carvão	2008	2009	2010	2011	2012
(milhões de toneladas)					
Exportado	63,3	25,2	27,1	27,5	15,1
Importado	44,4	138,8	179,8	200,7	318,4
SALDO	18,9	-113,6	-152,7	-173,2	-303,3

Fonte: Elaboração do próprio autor com base em dados do EIA (2014).

Os motivos para esse aumento considerável nas importações de carvão na China seriam não só a elevação na demanda, mas também o alto custo do transporte do carvão de regiões produtoras para regiões consumidoras – devido a gargalos de infraestrutura, em termos de capacidade de transporte das ferrovias chinesas, o que torna o carvão importado mais barato do que o doméstico, especialmente da região produtora do sudeste da China.

A indústria extratora de carvão mineral na China está, em grande parte, nas mãos de grandes minas estatais. As 10 principais empresas de extração chinesas produzem mais de um terço do carvão (EIA, 2014). A maior empresa extratora de carvão do mundo é a Shenhua Group, que detem mais de 10% do mercado doméstico chinês. Além destes grandes grupos extratores de carvão, existem na China cerca de 10.000 pequenas minas de carvão, que exploram esse recurso muitas vezes de forma ineficiente e precária. No entanto, essas pequenas minas de carvão atendem a uma parcela considerável do mercado doméstico chinês.

Frente a essa realidade, e ciente dos problemas ambientais que o uso excessivo desse recurso traz, o governo chinês busca atrair investimentos em novas tecnologias, mais eficientes de extração, bem como busca também a melhoria das condições ambientais e de segurança das minas de carvão. Dentro do 12º Plano Quinquenal, o governo chinês estabelece um teto para a capacidade de produção de carvão em 4,6 bilhões de toneladas até 2015, a fim de controlar o crescimento da produção desse recurso. O governo almeja também, nesse setor, formar cerca de 10 empresas de grande porte que controlariam cerca de 60% da produção total de carvão da China, bem como limitar o número de minas de carvão em 4.000. A China também vem abrindo esse setor ao investimento estrangeiro, num esforço de modernização, com novos projetos de extração, produção e transporte do mineral.

Atualmente, a China é também o maior produtor de energia elétrica do mundo, tendo ultrapassado os EUA em 2011. Naquele ano, a geração de energia elétrica chinesa chegou a 4,4 terawatts-hora (TWh), enquanto que nos EUA a geração foi de 4,1 terawatts-hora (TWh). A geração de energia elétrica na China aumentou em mais de 90%, de 2005 para 2011, e somente de 2010 a 2011 o incremento foi de mais de 12%. A figura 4 ilustra essa evolução da produção de energia elétrica da China, em comparação com a produção de energia elétrica dos EUA, na primeira década dos anos 2000.

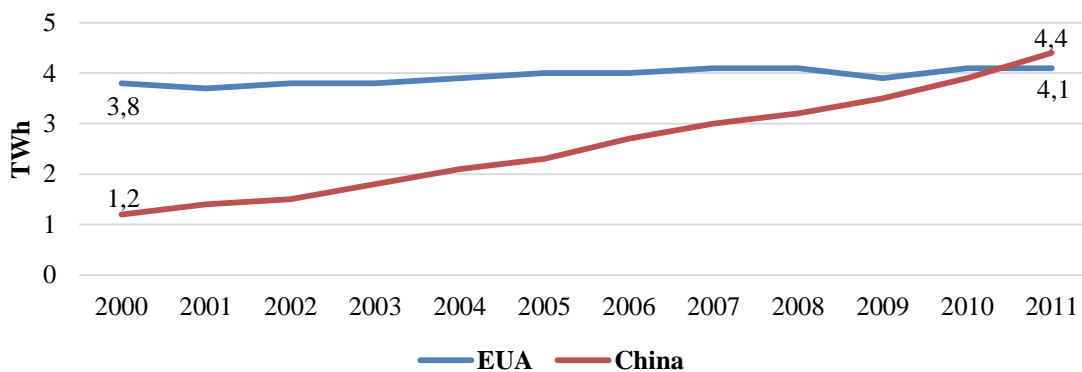


Figura 4 – Comparação entre energia elétrica produzida nos EUA e na China.
Fonte: Elaboração do próprio autor com base nos dados da EIA (2014).

O EIA (2014) projeta que até 2020 a geração de energia elétrica chinesa chegará a 7,2 TWh e, até 2040, a 11,5 TWh, sendo o setor industrial, o responsável por três quartos do consumo de toda energia elétrica produzida.

Frente a essas projeções, a China planeja diversificar ainda mais suas fontes de geração de energia elétrica, contando com fontes nucleares, renováveis e de gás natural, substituindo parte da tradicional fonte de carvão, estratégia esta que, como mencionado anteriormente, visa também a redução de suas emissões de CO₂. De acordo com o EIA (2014), a capacidade instalada de geração de energia elétrica da China era de 324 GW em 2000, passando para 1.145 GW em 2013.

Essa rápida expansão da capacidade instalada de geração de energia elétrica no país está diretamente ligada ao seu crescimento econômico, tal como mostrado na seção anterior. Projeções do EIA (2014) indicam que essa capacidade chegará a 2.265 GW em 2040, impulsionada por uma combinação de fontes não-renováveis como o carvão mineral e o gás natural e de fontes renováveis. As termoelétricas movidas a carvão ainda dominam, com 65% do fornecimento de energia elétrica na China, conforme a figura 5. Observa-se uma participação de fontes renováveis, a qual chega a mais de 25%, quando somados os 22% das hidroelétricas.

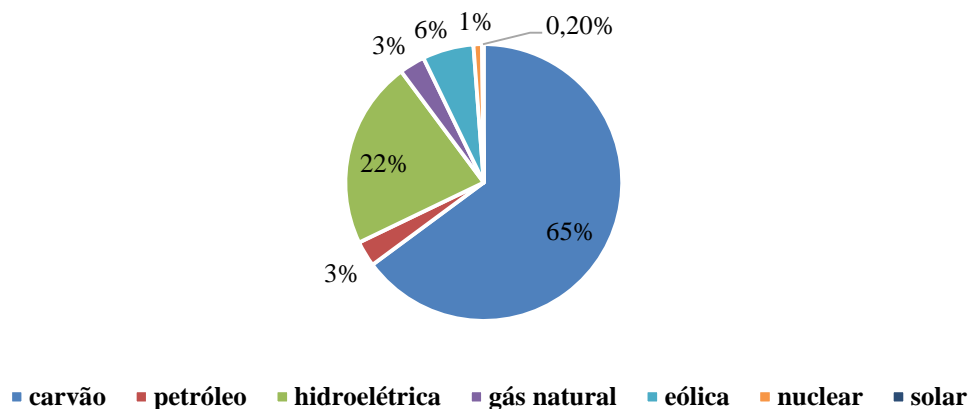


Figura 5 – Capacidade instalada de geração de energia elétrica da China em 2011 por fonte.

Fonte: EIA (2014). Disponível em: < <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/China/china.pdf> >. Acesso em: 19 de ago. de 2014.

A figura 6 mostra como se projeta a capacidade instalada de geração de energia elétrica da China para 2040, por fonte, ressaltando a diminuição da participação do carvão para 52%, mas ainda respondendo com pouco mais da metade. Outro ponto a ser observado é o aumento da capacidade instalada das fontes renováveis.

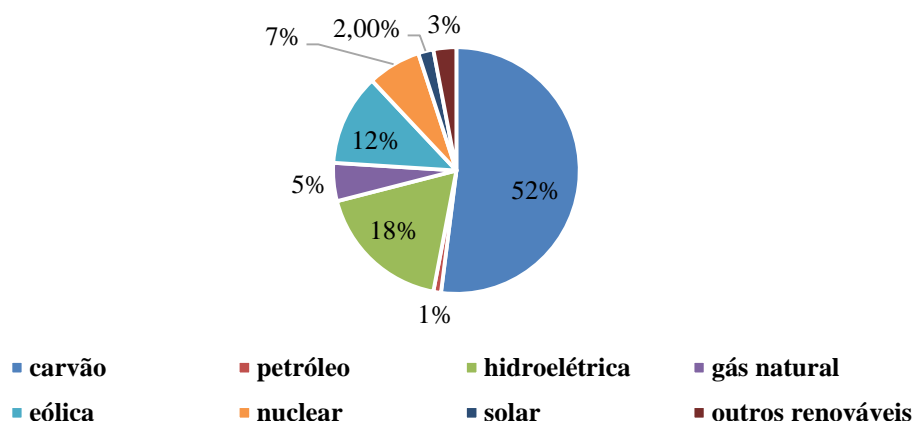


Figura 6 – Capacidade instalada projetada de geração de energia elétrica da China em 2040 por fonte.
 Fonte: EIA (2014). Disponível em: < <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/China/china.pdf> >. Acesso em: 19 de ago. de 2014.

Embora a China tenha aumentado significativamente a capacidade instalada de geração de energia elétrica na última década, esses esforços ainda são insuficientes para atender a sua forte demanda por energia. A maior parte dos investimentos feitos nesse setor foram destinados a minorar a escassez de energia elétrica. Como a demanda por energia tende a acompanhar os ciclos econômicos, a crise de 2008 atenuou um pouco essa demanda por eletricidade. Atualmente, o governo chinês vem investindo no desenvolvimento da rede de transmissão, bem como na integração das redes regionais, e construção de nova capacidade de geração elétrica.

De acordo com EIA (2013), a China utiliza quase a mesma quantidade de carvão para geração de eletricidade que os demais países do mundo somados, tendo consumido em 2011, 3,8 bilhões de toneladas deste recurso, o que representou 47% de toda a quantidade consumida no mundo. O mesmo estudo revela que, desde o ano 2000, a demanda mundial subiu 2,9 bilhões de toneladas, sendo que a China respondeu por 82% dessa elevação da demanda ou 2,3 bilhões de toneladas. A grande demanda chinesa por carvão ocorre por conta do crescimento da geração de energia elétrica no país, que desde 2000 aumentou cerca de 200%. De acordo com EIA (2013), o consumo do combustível fóssil na China subiu em média 9% ao ano na década passada, representando mais do que o dobro do restante do planeta, que foi de 4%.

Para o EIA (2013), a China foi a maior consumidora de carvão em 2011, consumindo cerca de 3,8 bilhões de toneladas do mineral, representando 47% da demanda do mundo. A

figura 7 mostra a evolução do crescimento do consumo de carvão tanto na China como no restante do mundo, de 2000 a 2011.

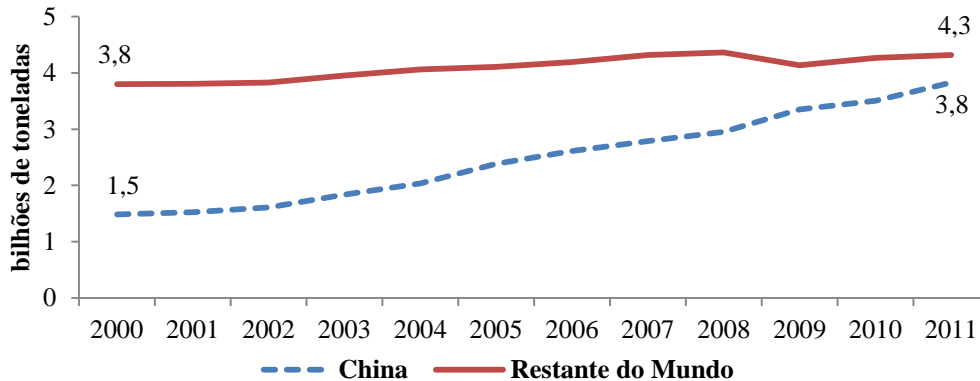


Figura 7 – Consumo de carvão na China *versus* consumo de carvão no restante mundo, no período 2000-2011. Fonte: Elaboração do próprio autor, com base em dados da EIA (2014).

3.3 Emissões de CO₂ na China, perspectivas e políticas para redução das emissões de GEE e promoção de fontes alternativas

Segundo dados do *Trends in Global CO₂ Emissions* (2012), as emissões totais de CO₂ em 2011, na China, atingiram 9,7 bilhões de toneladas, significando uma emissão *per capita* de 7,2 toneladas de CO₂, incluindo esse país dentro do grupo de países industrializados com maiores emissões de CO₂ (de seis a 19 toneladas *per capita*). No entanto, cabe salientar que, nesse mesmo ano, a China emitiu menos que a metade de CO₂ *per capita* que os Estados Unidos.

A tabela 2 mostra a evolução dessas emissões para os dois países, permitindo observar que embora os EUA tenham uma superioridade na emissão de CO₂ *per capita*, esta vem se reduzindo nas últimas duas décadas, enquanto que o aumento da emissão de CO₂ por habitante na China mais do que triplicou no mesmo período¹.

¹ Outro ponto importante a se destacar, à luz dos dados do *Trends in Global CO₂ Emissions* (2012), é que as emissões totais de CO₂ do EUA em 2011 foram de 5,42 bilhões de toneladas, ao passo que a China emitiu, no mesmo ano, 9,7 bilhões de toneladas de CO₂.

Tabela 2 – Emissões de CO₂ per capita da China e EUA entre 1990 e 2011 (toneladas de CO₂ per capita)

	1990	2000	2010	2011	Δ% 1990-2011
China	2,2	2,8	6,6	7,2	227%
EUA	19,7	20,8	17,8	17,3	-12%

Fonte: *Trends in Global CO₂ Emissions* (2012).

Grande parte da emissão de CO₂ da China vem justamente de suas usinas termelétricas, a base de carvão mineral. Outro ponto relevante a se evidenciar é a sua grande produção de aço – a China é a maior produtora de aço do mundo, segundo a *Worldsteel Association* (2013), sendo que em 2012, produziu 716 milhões de toneladas de aço bruto, o que também ocorre mediante o uso de carvão.

Embora o consumo de carvão na China seja elevado, com sua consequente emissão elevada de GEE, em especial o CO₂, o país também vem se esforçando no sentido de promover as fontes de energias renováveis. Segundo Fang (2011), já no fim da década de 1950, o país possuía usinas de geração elétrica por força das marés e em 1971 painéis fotovoltaicos foram instalados. No entanto, esses empreendimentos eram muito incipientes e questões relacionadas à escassez de energia e a emissões de poluentes atmosféricos não tinham tanta importância como nos dias de hoje, sendo irrelevante o desenvolvimento de fontes alternativas, bem como a sua importância no fornecimento de energia.

A promoção dos renováveis na China teve o seu impulso mais efetivo a partir de 2006, com a promulgação da Lei de Energias Renováveis, significando uma importante guinada para o fomento desse setor, iniciando pelas fontes fotovoltaicas e eólica (LO, 2014). Para Shuman e Lin (2012), essa lei foi determinante para a expansão das fontes renováveis, estabelecendo um pilar central no desenvolvimento e expansão dos renováveis na China (aperfeiçoada em 2009) o que estabeleceu um marco legal e ampliação das regras para a promoção dos renováveis. Com isso, a China experimentou um rápido crescimento na produção a partir dessas fontes, com maior intensidade da eólica.

Essa lei, conhecida como Lei de Energias Renováveis da República Popular da China, teve sua promulgação em 28 de fevereiro de 2005, durante o Congresso do Comitê Nacional Popular, entrando em vigor em 1º de janeiro de 2006. Para Shuman e Lin (2012), o objetivo dessa lei é a promoção, desenvolvimento e utilização das energias renováveis, aumentando a oferta de energia, melhorando a infraestrutura energética, visando garantir segurança energética, proteção ambiental e desenvolvimento econômico e social sustentável.

A lei estabeleceu que o desenvolvimento e utilização das energias renováveis devem ser tratados com prioridade, incluindo no grupo de renováveis as fontes eólica, solar,

hidrelétrica, geotérmica, de marés e outras não fósseis. Adicionalmente, houve a introdução de um marco regulador que abrangesse a geração por biomassa, como também a biomassa agrícola, florestal e do lixo, bem como a geração de biodigestor de lixo a gás (SHUMAN e LIN, 2012).

Como resultado dessa política para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis na geração de energia, em especial o carvão, e assim reduzir suas emissões de GEE, a China vem elevando consideravelmente sua produção de energia renovável. A figura 8, a seguir, mostra a evolução da produção de energia total, oriunda de fonte renovável, na qual se observa uma tendência de aumento em todo o período, acentuando-se a partir da metade da década de 2000.

Em 1980, a China produzia 57,6 bilhões de quilowatts hora de energia de fontes renováveis. Ao final da série, em 2012, passou a produzir 1.003,5 bilhões de quilowatts hora.

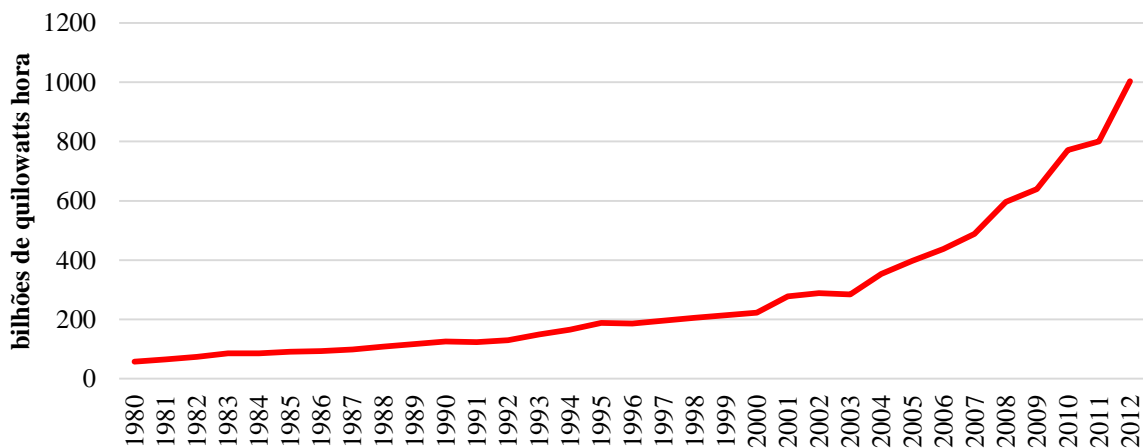


Figura 8 – Total de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis na China, no período de 1980 a 2012. Fonte: EIA (2014).

A Figura 9 mostra que a China praticamente não produzia eletricidade renovável, que não fosse oriunda de hidrelétricas, até o ano de 1989, salvo uma pequena produção conforme destaca Fang (2011), que era praticamente irrelevante.

A China só iniciou a sua produção dentro dessa categoria no início dos anos 1990, sendo que a produção se torna substancial a partir de 1999 em diante, quando atinge 2,9 bilhões de quilowatt hora. Semelhantemente ao indicado pela figura 8, a produção de eletricidade renovável, excluindo-se de hidrelétricas, passa a ter um crescimento mais robusto a partir de 2004, saltando de 3,81 bilhões de quilowatt hora naquele ano para 147,1 bilhões de quilowatt hora em 2012.

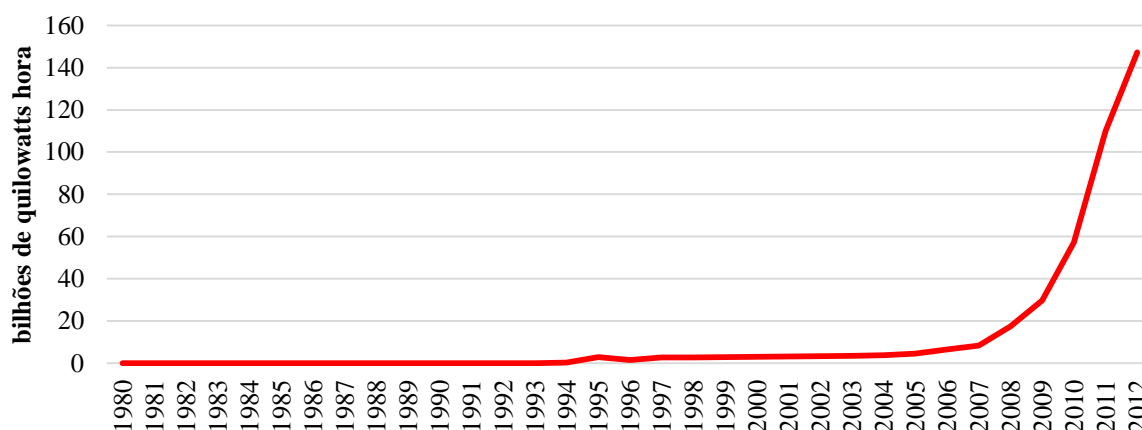


Figura 9 – Total de eletricidade renovável gerada, excluindo hidrelétricas, na China, no período de 1980 a 2012. Fonte: EIA (2014).

Ao se decompor a produção de energia elétrica chinesa por fonte renovável, pode-se chegar ao total de eletricidade das principais fontes renováveis, quais sejam, eólica, biomassa e solar (Figura 10). Nota-se um crescimento significativo das fontes eólica e de biomassa, a partir de 2005 e 2009, respectivamente. Até 1989, a China não produzia energia elétrica oriunda de fonte eólica, tendo seu início em 1990, porém o crescimento mais robusto dessa produção ocorre a partir de 2004, com 1,33 bilhão de quilowatts hora, chegando em 2012 com uma produção de 95,9 bilhões de quilowatts hora.

Com relação à biomassa, até 1993, a China não produzia energia elétrica dessa fonte. Entre 1994 e 2009, a produção de eletricidade chinesa por biomassa permaneceu em torno de 2,25 bilhões de quilowatts hora, ocorrendo seu aumento a partir do ano de 2010, com um salto nesse mesmo ano de 11,4 bilhões de quilowatts hora, encerrando a série em 2012 com 44,6 bilhões de quilowatts hora.

Para a fonte solar, observa-se que a China tinha uma produção muito pequena até 2008, quando se verifica o início de seu crescimento, passando de 0,15 bilhão de quilowatts hora para 6,3 bilhões de quilowatts hora em 2012.

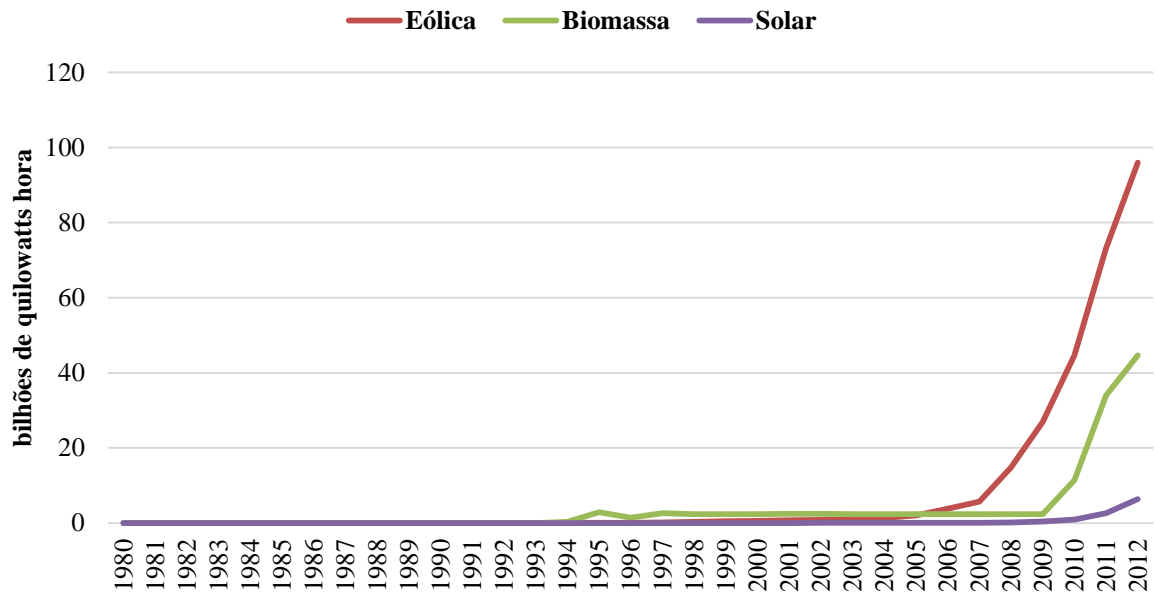


Figura 10 – Total de eletricidade renovável gerada por fonte eólica, de biomassa e solar, na China, no período de 1980 a 2012.

Fonte: EIA (2014).

Segundo REN21 (2015), os investimentos em renováveis, em 2014, nos países em desenvolvimento somaram US\$ 138,9 bilhões, dos quais a China respondeu por 63%. Para REN21 (2015), os países líderes em investimentos em renováveis são China, EUA, Japão, Reino Unido e Alemanha. De acordo com essa fonte, esse resultado é um marco importante pois pode caracterizar-se como o início de um rompimento do elo que une crescimento econômico e emissões de CO₂ na China, promovendo um crescimento econômico mais sustentável. Essa tendência é captada no estudo de Fang (2011), onde são mostradas evidências de melhoria de bem-estar ao se aumentar o consumo de energia advinda de fontes renováveis.

Embora ainda dependa muito do carvão na geração de energia, a China vem concentrando grandes esforços para a diversificação de sua matriz energética e, especialmente, em fontes renováveis, estas ainda constituem uma fração pequena. O governo chinês planeja limitar o uso do carvão na geração de energia elétrica para menos de 65% do consumo total de energia primária até 2017, tendo como principal motivação a redução de seus índices de emissão de GEE.

Dentro do seu 12º Plano Quinquenal, a China estabeleceu elevar em 15%, até 2020, a participação de fontes renováveis em sua matriz. O EIA (2014) tem uma expectativa menor do que a proposta pelo governo chinês, projetando queda do uso do carvão na geração de

energia elétrica, na China, para 63% do consumo total de energia primária até 2020 e 55% até 2040. Contudo, cabe ressaltar que, embora a participação do carvão na geração de energia primária da China deva se reduzir, estima-se um aumento de mais de 50% do consumo absoluto de carvão até 2040, refletindo o grande crescimento no consumo total de energia.

Por outro lado, a partir da observação do aumento significativo da produção de energia por fontes renováveis, nas figuras anteriores desta seção, depreende-se que as políticas de renováveis implementadas pela China vem dando alguns resultados, o que pode dar um indicativo de qual rumo a mesma deva tomar para diminuir sua dependência no consumo de carvão, sem que isso afete o seu crescimento econômico.

O que se observa é um resultado positivo da lei de renováveis chinesa, cuja promulgação marca o início de seu maior incremento no país. No entanto, por trás desse resultado positivo, há uma forte centralização do planejamento e determinação da promoção dos renováveis, o que se traduz na própria força de uma legislação específica para o setor com um caráter impositivo e autoritário, o que pode gerar críticas no que concerne a que ponto essa indústria pode sobreviver sem a intervenção estatal, regida apenas por mecanismos puramente de mercado. Por outro lado, o ponto positivo, que pode ser observado, é o desenvolvimento e crescimento de uma indústria de renováveis chinesa que vem auxiliar no aumento da produção de energia por essas fontes.

Outra questão que se tem discutido na China a fim de diminuir sua dependência do carvão como fonte geradora de energia é a criação de um imposto sobre a quantidade de carvão produzida e comercializada, de modo que o recurso arrecadado com essa taxa seria reinvestido na promoção e no desenvolvimento de tecnologias renováveis. No entanto esse é outro ponto polêmico e que gera muita resistência, uma vez que tal dispositivo fere a liberdade e regras de livre mercado, criando talvez algum grau de artificialidade nessa indústria. Outro ponto também relacionado a esse dispositivo de taxa é o próprio fato de que o governo chinês é o maior proprietário de empresas mineradoras que produzem carvão.

A questão que pode ser gerada, quanto à mudança na matriz energética chinesa, reside na possibilidade de a China manter seu padrão de crescimento econômico, realizando, ao mesmo tempo, essa alteração nas fontes de energia e diminuição na dependência do carvão. Estudos como o de Fang (2011) mostraram uma elevação no PIB, PIB *per capita* e renda das famílias chinesas à medida que se eleva o consumo em renováveis, dentro de uma matriz de renováveis mais ampla e diversificada.

No entanto, outros estudos também apontam para relações de causa e efeito do consumo de carvão sobre o PIB chinês. Assim, baseado nisso, pode-se inferir sobre questões

relacionados ao impacto sobre o crescimento econômico desse país, no que concerne a forma e o procedimento de implantação dessas políticas de renováveis na China substituindo o uso do carvão, uma vez que, ao mesmo tempo em que cresce a produção de energia por fontes renováveis, cresce também o consumo de carvão para produção de energia, mesmo que este tenha a sua fração de participação diminuída no conjunto de fontes geradoras de energia.

Outro ponto importante, seria também saber o impacto da substituição do carvão sobre o produto chinês, estimando cenários com diferentes prazos, haja vista que, se por um lado a China tenha assumido compromissos de redução de emissões de GEE, por outro possa existir a necessidade de aceleração da implantação dessas políticas, como uma resposta frente a estudos mais pessimistas sobre aquecimento global. Há que se pensar também que o desenvolvimento das energias renováveis está sendo impulsionado pela indústria de equipamentos, que tem alto valor agregado, é exportadora também. Desta forma, existe um resultado positivo em termos de aumento na oferta desses equipamentos tendo um efeito positivo no produto.

4 MODELO TEÓRICO, METODOLOGIA E DADOS

4.1. Modelo Teórico e Função de Produção Cobb e Douglas

Em seu seminal artigo, Cobb e Douglas (1928) buscavam a possibilidade de medir e explicar variações na produção, a partir da observação de mudanças nas quantidades de capital e trabalho, dada uma determinada tecnologia, ou seja, a possível influência do capital e do trabalho sobre a produção. Assim, tinham por objetivo determinar as relações existentes entre esses fatores de produção e o produto, dentro da economia americana no período de 1899 a 1922. Para eles, associando quantidades desses recursos, seria possível transformá-los em produto.

Primeiramente, segundo Cobb e Douglas (1928), definem-se bens de capital, ou capital como o conjunto investido de bens e instalações tais como máquinas, ferramentas, prédios, matérias-primas, complexo de infraestrutura que, combinados entre si, auxiliam na criação e incremento da produção. Por outro lado, define-se o trabalho como o conjunto de mão-de-obra disponível que é utilizada também para o incremento do produto. Assim, dados esses dois fatores que, combinados, acabam se transformando em produto, por exemplo, trabalhadores produzindo carros em uma fábrica. O modelo empregado por Cobb e Douglas (1928), embora fosse simplificado, apresentou boa precisão na explicação do desempenho econômico americano no período analisado, encontrando a contribuição de cada fator na composição do PIB.

Levando em consideração que o produto pode sofrer impacto de outras variáveis, e estudando a relação da energia dentro desse arcabouço teórico, surgiram trabalhos que tentavam associar capital e trabalho com energia a fim de estimar o impacto dessas variáveis na produção. Para Thompson (2006), energia envolve o ato de mover ou transformar matéria, incluindo toda a gama de combustíveis e recursos naturais. Essa abordagem, dentro da teoria da produção, adotando a energia como um fator de produção, tem como nomes proeminentes Stern (1993), Stern (2000) e Oh e Lee (2004a, 2004b). Segundo Stern (2004), muitos estudos buscam encontrar os impactos da energia na produção, relacionando o impacto do seu preço sobre a atividade econômica, deixando de lado o peso da energia na produção como um fator de produção.

Stern (1993) advoga pela importância da energia no incremento da produção, isto é, considerando-a como um fator de produção, uma vez que se observa uma correlação entre energia e produto, bem como a necessidade do uso da energia para a criação dos fatores de

produção, isto é, a energia também pode ser vista como um fator intermediário necessário, por exemplo, para a criação de capital.

Stern (2000) justifica, ainda, que o uso da energia funciona como um fator na explicação de variações na produção. A energia também pode ser observada como um indicativo de mudanças estruturais na economia, corroborando com as hipóteses de Apergis e Payne (2010). Isso pode significar que uma economia que se industrializa e passa a ser mais intensiva em capital, passe a consumir mais energia. Dessa forma, para Stern (2000), a introdução da energia como um fator de produção junto com capital e trabalho, pode ajudar a medir e explicar variações na produção.

A função de produção do tipo Cobb-Douglas é a forma funcional mais usada para representar a contribuição dos insumos na produção. Segundo Fang (2011), essa função foi proposta inicialmente por Knut Wicssell, e mais tarde teve suas propriedades testadas estatisticamente por Cobb e Douglas (1928), com sua expressão geral representada da seguinte forma (1):

$$Y = AK^\alpha L^\beta \quad (1)$$

em que Y é a produção total em um período de tempo; K é o capital constituído de máquinas e equipamentos; L é o trabalho, ou quantidade de trabalhadores utilizados na produção; e A é a produtividade total dos fatores de produção. Os coeficientes α e β são as elasticidades do capital e do trabalho, respectivamente, sendo valores constantes e determinados para um dado nível de tecnologia.

Para este estudo em especial, busca-se analisar as relações entre o consumo de carvão chinês como uma variável para energia e a atividade econômica, fazendo uso de uma função de produção como a proposta por Bloch et. al. (2012), consistindo em uma função de produção do tipo Cobb-Douglas alterada conforme a equação (2):

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^\beta C_t^\gamma \varepsilon_t \quad (2)$$

em que Y_t indica o PIB chinês ao longo do tempo t , K_t é o estoque de capital, L_t é o trabalho empregado na produção, A_t é o nível de tecnologia, medida como a produtividade total dos fatores de produção, C_t é o consumo de carvão na China, usado como variável representativa do consumo de energia, e α , β e γ as respectivas elasticidades do produto aos insumos, de

acordo com a variação do capital, trabalho e do carvão, respectivamente, todas medidas em um determinado intervalo de tempo.

4.1.1 Construção da variável estoque de capital

Para a variável capital, procedeu-se à construção com base na metodologia proposta por Conesa et. al. (1990). De acordo com esses autores, o estoque de capital é calculado através do método do inventário que soma os investimentos acumulados em capital físico considerando uma taxa de depreciação. Assim tem-se que.

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + X_t \quad (3)$$

em que δ representa a taxa de depreciação do capital; e X_t o investimento real. Assume-se uma taxa de depreciação de 6% ao ano (Chow e Li, 2002).

Para o cálculo inicial de K_t , utiliza-se a própria função de produção Cobb-Douglas conforme a equação (1), considerando um coeficiente alfa de 0,6 com base em Chow e Li (2002), ou seja parte-se inicialmente de um valor para K_t , isolando-o da própria função de produção Cobb-Douglas. A consideração de uma taxa de depreciação para o capital ao longo do período estudado é outro ponto importante neste estudo.

Assim, fazendo uso de uma função de produção e considerando o estoque de capital, os mesmos não consideram a depreciação, usando como variável para capital a formação bruta de capital fixo. Desta forma, esta é uma inovação e diferenciação deste estudo, pois a variável estoque de capital aqui utilizada leva em conta a depreciação.

A importância da introdução da depreciação está no fato de que esta representa o custo de obsolescência de um determinado ativo, ou seja, um bem de capital que perde o seu valor de aquisição ao longo do tempo e com o uso, tornando-se obsoleto. Desta forma, observa-se a necessidade da introdução desse fator uma vez que o capital sofre esse desgaste.

Portanto, numa economia produtiva, é necessário levar em conta o efeito da depreciação uma vez que os bens de capital podem perder o seu valor devido à obsolescência tecnológica, mudança do processo produtivo e até mesmo por alterações no hábito de consumo de uma população, alterando um determinado ramo da indústria.

4.2 Metodologia

4.2.1 Modelo Auto–Regressivo Vetorial (VAR)

Sims (1980) foi o primeiro a propor o modelo Auto–Regressivo Vetorial (VAR), estabelecendo que se considerem as variáveis de uma forma simétrica, não havendo assim, a necessidade de determinar quais seriam as variáveis dependentes e quais as independentes. No entanto, a utilização dessa modelagem demanda cuidado sob dois aspectos: a escolha das variáveis corretas e a sua ordem de entrada no modelo, sendo que todas as variáveis devem estar em conformidade com o modelo econômico que fundamenta o estudo. Além destes cuidados, é preciso determinar o número ótimo de defasagens das variáveis do modelo, de maneira a capturar a interação econômica existente entre elas.

Com o modelo VAR, é possível obter elasticidades de impulso para períodos futuros, por meio de uma função impulso–resposta, que mostra o comportamento de variáveis frente a choques individuais, permitindo examinar a influência destas variáveis no modelo ao longo do tempo. Ademais, a realização de uma decomposição histórica da variância da amostra, identificando individualmente choques ocorridos anteriormente, permitindo observar sua importância na determinação de mudanças nos valores das variáveis frente a valores previstos, no escopo de previsões. Além disso, essa metodologia possibilita detectar causa e efeito entre duas variáveis, por meio da aplicação do Teste de Causalidade de Granger, mostrando como uma determinada variável é capaz de influenciar outra variável (BUENO, 2008).

Outro fator que confere vantagem à escolha do modelo VAR é a possibilidade de se observar a decomposição da variância dos erros de previsão para períodos no futuro e em percentuais atribuídos a cada componente, permitindo, assim, analisar o grau de explicação de uma variável sobre as restantes. Esse recurso permite obter a percentagem da variância do erro de previsão de uma determinada variável em vários períodos, podendo, dessa maneira, ser explicada por cada choque não-antecipado sobre as variáveis do modelo.

Para Enders (2004), a construção inicial do modelo VAR como um sistema de equações com duas variáveis, em que se assume interdependência entre as mesmas, estando relacionadas por uma memória auto-regressiva, onde y_t sofre influência de si mesma no passado y_{t-1} , e sofre influência de outra variável, z_t , que também é influenciada por ela mesma no passado z_{t-1} e vice-versa. Assim tem-se que:

$$y_t = b_{10} - b_{12}z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}z_{t-1} + \varepsilon_{y_t} \quad (4)$$

$$z_t = b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}z_{t-1} + \varepsilon_{z_t} \quad (t = 1, 2, 3, \dots)$$

em que os erros ε_{it} possuem média e variância constantes e não são correlacionados (ruídos brancos). Essa estrutura aponta para a existência de uma relação simultânea entre y_t e z_t , e uma influência de ε_{y_t} sobre z_t e de ε_{z_t} sobre y_t relacionando os erros com as variáveis explicativas, ocorrendo o problema de os regressores não serem correlacionados com os termos de erros, o que leva a estimativas que não são confiáveis.

Para corrigir esse problema, é necessário aplicar a metodologia Auto-Regressiva Vetorial (VAR), onde as equações (4) são expressas na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{b}_{12} \\ \mathbf{b}_{21} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_t \\ \mathbf{z}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{10} \\ \mathbf{b}_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{t-1} \\ \mathbf{z}_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{y_t} \\ \varepsilon_{z_t} \end{bmatrix} \quad (5)$$

fazendo:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{b}_{12} \\ \mathbf{b}_{21} & \mathbf{1} \end{bmatrix}, \mathbf{x}_t = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_t \\ \mathbf{z}_t \end{bmatrix}, \mathbf{\Gamma}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{10} \\ \mathbf{b}_{20} \end{bmatrix}, \mathbf{\Gamma}_1 = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix}, \mathbf{x}_{t-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{t-1} \\ \mathbf{z}_{t-1} \end{bmatrix}, \mathbf{\varepsilon}_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_{y_t} \\ \varepsilon_{z_t} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Obtem-se o modelo para duas variáveis, dado por:

$$\mathbf{B}\mathbf{x}_t = \mathbf{\Gamma}_0 + \mathbf{\Gamma}_1\mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{\varepsilon}_t \quad (7)$$

Obtendo-se o produto dos membros de (7) por \mathbf{B}^{-1} , tem-se o que Enders (2004) denomina de modelo VAR na forma reduzida:

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_1\mathbf{x}_{t-1} + \mathbf{e}_t \quad (8)$$

Em (8), tem-se um modelo VAR para duas variáveis de ordem 1, conseqüentemente o modelo VAR geral de ordem p será:

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_1\mathbf{x}_{t-1} + \dots + \mathbf{A}_p\mathbf{x}_{t-p} + \mathbf{e}_t \quad (9)$$

em que:

$$\mathbf{e}_t \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{\Omega})$$

A equação (9) mostra um processo auto-regressivo vetorial, onde \mathbf{x}_t é um vetor ($nx1$), e $\mathbf{A}_j (j = 1, \dots, p)$ é uma matriz (nxn) com valores presentes e defasados e \mathbf{e}_t é uma matriz de erros ($nx1$), ou ruído branco. Este vetor de erros pressupõe ser uma matriz positiva definida com os erros não correlacionados, mas podendo ser correlacionados contemporaneamente.

A forma (9) é estimada com base apenas no vetor de constantes e na matriz de valores passados das variáveis. No entanto, para se chegar à forma estrutural a partir da forma reduzida, deve-se resolver o problema de identificação, colocando restrições na matriz de relações contemporâneas e obtendo-se, assim, o VAR Estrutural.

Para Bueno (2008), o VAR Estrutural possibilita recuperar os parâmetros estruturais do modelo, através da ortogonalização dos resíduos, por meio da decomposição de Cholesky. Este procedimento trata de impor uma estrutura recursiva à matriz de relações contemporâneas das variáveis do modelo. “Trata-se de uma maneira triangular de decompor os resíduos” (BUENO, 2008, p. 182).

Desta forma pode-se partir do VAR Convencional para se chegar ao VAR Estrutural, proposto por Bernanke (1986), considerando pressupostos da teoria econômica e estabelecendo relações contemporâneas entre as variáveis, conforme explicado na próxima seção.

4.2.2 VAR Estrutural

Pode-se estabelecer um modelo VAR Estrutural em sua forma matricial, baseado em Enders (2004), considerando um modelo em primeira ordem com n variáveis:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & 1 & b_{23} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & b_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \\ \dots \\ x_{nt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{20} \\ \dots \\ b_{n0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \dots & \gamma_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1t-1} \\ x_{2t-1} \\ \dots \\ x_{nt-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t-1} \\ \varepsilon_{2t-1} \\ \dots \\ \varepsilon_{nt-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

reescrevendo (10) tem-se:

$$\mathbf{B}\mathbf{x}_t = \mathbf{\Gamma}_0 + \mathbf{\Gamma}_1\mathbf{x}_{t-1} + \boldsymbol{\varepsilon}_t \quad (11)$$

Fazendo o produto dos membros pela inversa \mathbf{B}^{-1} semelhantemente em (7), chega-se a:

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_1\mathbf{x}_{t-1} + \boldsymbol{\varepsilon}_t \quad (12)$$

O modelo VAR estrutural, estabelece relações contemporâneas, onde os modelos econômicos são base para o referencial teórico. Se os elementos da diagonal principal da matriz \mathbf{B} , representada em (10), são iguais a 1, a matriz contém $(n^2 - n)$ elementos desconhecidos. Desta forma, para Enders (2004), é preciso que se indentifique os n^2 elementos em (10), para fazer a identificação do modelo VAR Estrutural, realizada através da imposição das $[(n^2 - n) / 2]$ restrições, o que mostra o número máximo de relações contemporâneas que devem ser introduzidas na matriz \mathbf{B} .

O *software* econométrico utilizado para a realização dos procedimentos estatísticos, descritos nas seções anteriores, foi o WinRats (*Regression Analysis of Time Series*).

4.2.3. Teste de Raíz Unitária

Segundo Gujarati (2006), pode-se estabelecer a seguinte relação:

$$y_t = \rho y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{onde, } -1 \leq \rho \leq 1 \quad (13)$$

Para Gujarati (2006), se $|\rho| = 1$, o modelo da equação (13), torna-se um modelo de *passeio aleatório*, porém sem deslocamento, isto é, possui uma condição de não-estacionariedade, ou a existência de uma raiz unitária. “Assim os termos não-estacionariedade [estocástica], passeio aleatório e raiz unitária podem ser tratados como sinônimos” (GUJARATI, 2006, p.643).

Porém se $|\rho| < 1$, y_t é estacionária com $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ e $E(y_t) = 0$ e $var(y_t) = 1/(1 - \rho^2)$.

A observação da presença de raiz unitária é feita com testes específicos, sendo o mais usual o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF). Esta pesquisa adota o teste *DF-Generalized Least Square* (DF-GLS), de Elliot, Rothenberg e Stock (1996), sendo um teste ADF que filtra a presença de componentes deterministas presentes nas séries temporais.

Apesar de o DF-GLS ser assintoticamente equivalente ao ADF tradicional para séries que não apresentam componentes deterministas, para aquelas outras, séries com média ou tendência linear desconhecida, o DF-GLS é mais eficiente. Outro ponto importante é seu bom desempenho em amostras pequenas, como é caso da amostra usada nesse estudo. Quando se utiliza o ADF a extração da tendência de uma série não é eficiente, pois este usa o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Já o DF-GLS utiliza o método de Mínimos Quadrados Generalizados (MQG), extraíndo a tendência nas séries temporais. Desta forma, com essa filtragem, aplica-se o ADF ou DF tradicional, extraíndo seus componentes deterministas.

O DF-GLS é feito por meio da estatística t , seguindo a hipótese de presença de raiz unitária ($H_0: \gamma = 0$), contra a hipótese de série estacionária ($H_A: \gamma < 0$), seguindo a seguinte formulação:

$$\Delta y_t^d = \gamma_0 y_{t-1}^d + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta y_{t-i}^d + \varepsilon_t \quad (14)$$

A estimação da equação (14) é feita por MQO, onde y_t^d é uma série com componentes deterministas – intercepto e/ou tendência, extraídos por meio do MQG. A seleção do número de defasagens é feita através do Critério Modificado de Akaike (MAIC) de NG e Perron (2001). NG e Perron (2001) mostram que os critérios de Akaike (AIC) e de Schwartz (BIC) possuem a tendência de escolher pequenos valores das defasagens, quando há elevadas raízes unitárias negativas (próximas de -1), levando a análises distorcidas.

4.2.4. Modelos de Correção de Erro e Teste de Co-integração

Para duas séries temporais que tenham uma relação de longo prazo, utiliza-se o procedimento de Engle e Granger (1987) *apud* Hoffmann (2006), que leva em conta essas relações. Seja “um processo envolvendo n variáveis ($y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt}$), onde \mathbf{y}_t é o vetor-coluna com todos os valores dessas variáveis no tempo t . Essas n variáveis são co-integradas de ordem d, c . Se todas as n variáveis são $I(d)$ e existe um vetor coluna $\boldsymbol{\beta}$, com $\boldsymbol{\beta} \neq \mathbf{0}$, tal que $\mathbf{y}'_t \boldsymbol{\beta}$ é $I(d - c)$, com $c > 0$. Isto é, a ordem de integração da combinação linear $\mathbf{y}'_t \boldsymbol{\beta}$ é

menor do que a ordem de integração (d) das variáveis em y_t . O vetor β é denominado vetor de co-integração” (HOFFMANN, 2006, p. 362)².

Para Engle e Granger (1987), uma maneira de se compreender o conceito de co-integração é que este mostra se duas variáveis não-estacionárias possuem uma relação de equilíbrio no longo prazo. Dada a existência desta relação, ou a existência de mais de uma relação de longo prazo entre variáveis não-estacionárias do modelo, necessita-se introduzir um modelo de correção de erros na estimação.

4.2.5 Método de Engle e Granger

Supondo um modelo contendo duas variáveis y_t e x_t , que sejam $I(1)$. Três etapas são sugeridas por Engle e Granger (1987), a fim de se verificar se as variáveis y_t e x_t são co-integradas de ordem 1:

- 1) fazer um teste de raiz unitária, certificando-se que as variáveis são $I(d)$;
- 2) estimar uma relação de longo prazo entre elas obtendo o erro estimado, dado por:

$$y_t - \alpha - \beta x_t = \varepsilon_t \quad (15)$$

Assim testa-se a co-integração utilizando:

$$\hat{\varepsilon}_t = \rho \hat{\varepsilon}_{t-1} + u_t \quad \text{ou} \quad \Delta \hat{\varepsilon}_t = \phi \hat{\varepsilon}_{t-1} + u_t \quad \text{onde, } \phi = \rho - 1 \quad (16)$$

3) Sob a hipótese nula ($H_0: \phi = 0$), contra a hipótese alternativa ($H_A: \phi < 0$), seguindo a formulação em (17), realiza-se um teste ADF sobre os resíduos:

$$\Delta \hat{\varepsilon}_t = \phi \hat{\varepsilon}_{t-1} + \sum_{j=1}^m \theta_j \Delta \hat{\varepsilon}_{t-j} + u_t \quad (17)$$

Desta forma, se ocorrer a rejeição da hipótese nula para presença de raiz unitária nos resíduos, isto é $\varepsilon_t \sim I(0)$, as variáveis serão co-integradas. Os valores críticos para o teste de raiz unitária sobre os resíduos estão em Engle e Granger (1987).

² Eventuais mudanças de notações das variáveis, comparadas ao texto original, foram realizadas para se adequarem às variáveis da pesquisa.

Verificando-se a presença de co-integração entre as variáveis, Engle e Granger (1987) sugerem a estimação de um modelo de Correção de Erro. Logo, se as variáveis y_t e x_t são $I(1)$ e co-integradas, o Modelo de Correção de Erro será dado por:

$$\Delta y_t = \theta_0 + \theta_1 \Delta x_t + w \hat{\varepsilon}_{t-1} + v_t \quad \text{em que:} \quad \hat{\varepsilon}_{t-1} = y_{t-1} - \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_{t-1} \quad (18)$$

Dessa maneira, $\hat{\varepsilon}_{t-1}$ em (18) é o coeficiente do erro defasado ou termo de correção de erro que dá o quanto do desequilíbrio de longo prazo é corrigido em um período.

No entanto, na maioria dos casos, há a existência de modelos que possuem mais de uma variável explicativa e mais de duas séries com raiz unitária. Nesses casos, o procedimento mais adequado é aquele proposto por Johansen (1991), descrito na próxima seção.

4.2.6 Método de Johansen³

O método proposto por Johansen (1988), Johansen e Juselius (1990) e Johansen (1991) deve ser utilizado quando há mais de um vetor de co-integração ou quando as variáveis independentes são endógenas.

Inicialmente, Johansen (1991) propõe um modelo geral auto-regressivo vetorial (VAR):

$$\Delta \mathbf{X}_t = \mathbf{\Pi} \mathbf{X}_{t-1} + \sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{\Pi}_i \Delta \mathbf{X}_{t-1} + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \quad (t = 1, \dots, T) \quad (19)$$

em que: $\mathbf{\Pi}_i = -(\mathbf{I} - \mathbf{A}_1 - \dots - \mathbf{A}_i)$, com $i = 1, \dots, n - 1$, e $\mathbf{\Pi} = -(\mathbf{I} - \mathbf{A}_1 - \dots - \mathbf{A}_n)$.

Tem-se em (19) um modelo VAR nas diferenças, em que o objetivo é verificar o posto da matriz $\mathbf{\Pi}$, chamado (r), sendo igual ao número de vetores de co-integração independentes. Há três possíveis casos. O primeiro, $\mathbf{\Pi} = 0$, indica que o posto da matriz é igual a zero ($r = 0$), nesse caso a matriz é nula e o modelo deve ser ajustado nas primeiras diferenças. Se a matriz for de posto completo, $\mathbf{\Pi} = n$, isto é, ($r = n$), tem-se um vetor em um processo

³As próximas seções têm como base Enders (2004) e Bueno (2008).

estacionário, no qual se deve considerar um VAR em nível. E, por fim, se $\mathbf{\Pi}$ for igual ou maior que 1, mas menor que n , tem-se, neste caso, a parcela $\mathbf{\Pi X}_{t-1}$ que é o termo de correção de erro. Assim, se, verifica-se a presença de múltiplos vetores de co-integração.

Também a matriz $\mathbf{\Pi}$ pode ser colocada na forma $\mathbf{\Pi} = \mathbf{\alpha\beta}'$, onde $\mathbf{\beta}$, segundo Johansen (1991), é uma matriz de vetores de co-integração ($n \times r$) e $\mathbf{\alpha}$ é uma matriz ($n \times r$) de coeficientes de ajustamento (pesos), indicando como cada vetor de co-integração se comporta dentro do VAR. Assim pode-se transformar (19) em:

$$\Delta \mathbf{X}_t = \mathbf{\alpha\beta}' \mathbf{X}_{t-1} + \sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{\Pi}_i \Delta \mathbf{X}_{t-1} + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \quad (t = 1, \dots, T) \quad (20)$$

Dessa maneira, o termo $\mathbf{\alpha\beta}' \mathbf{X}_{t-1}$ é a parcela de correção de erro, que leva em consideração as relações de co-integração existentes entre as variáveis. Se houver apenas uma relação de co-integração, a magnitude de $\mathbf{\beta}$ será ($1 \times n$) ou ($1 \times n + 1$) quando há constante. Comumente é realizada a normalização desse vetor para o caso de uma variável.

A obtenção desse valor se dá por meio de duas estatísticas, dadas por Johansen (1991), que são a estatística traço e estatística de máximo valor. A estatística traço é empregada para testar a hipótese nula (H_0) de que a quantidade de vetores de co-integração é $r \leq r_0$, contra a hipótese alternativa (H_A) de $r > r_0$, onde $r_0 = 1, 2, 3, \dots, n - 1$, significando o número de variáveis do modelo. Este teste é dado por:

$$\lambda_{traço} = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (21)$$

em que λ são os valores estimados das raízes características, obtidas da matriz $\mathbf{\Pi}$ estimada, e o termo T é o número de observações utilizadas no ajustamento.

A estatística de máximo valor, representada em (22), é utilizada para testar a hipótese nula (H_0) de significância do maior autovalor $r = r_0$ contra a hipótese alternativa (H_A), que é o número de vetores significativos dado por $r = r_0 + 1$.

$$\lambda_{máx} = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (22)$$

Os valores críticos para ambas as estatísticas estão em Osterwald-Lenum (1992), *apud* Enders (2004). Geralmente adota-se somente uma dessas estatísticas. A sugestão de Enders

(2004) é de estimar modelos VAR de diferentes ordens nas variáveis em diferença, escolhendo o número adequado de defasagens para os mesmos, o que é feito baseado no menor valor calculado para os critérios de Schwartz (BIC) e Hannan–Quinn (HQ).

4.3 Fontes de dados

Para a construção do modelo proposto, dado pela equação (2) foram utilizadas, como variáveis, o PIB chinês, o estoque de capital da China, o trabalho, que é o nível geral de emprego na China, e o consumo de carvão⁴. A escolha dessas variáveis baseou-se em Cobb e Douglas (1928) e Bloch et. al. (2012). O período de análise se estende de 1980 a 2010, com dados de frequência anual.

O levantamento de dados referentes ao consumo de carvão foi feito na base disponível do British Petroleum, fazendo uso do total de carvão consumido, em milhões de toneladas de petróleo equivalente, a partir de dados coletados no Statical Review of World Energy (2015) da British Petroleum. Para a variável trabalho, adotou-se o nível geral de emprego em milhares de pessoas, coletado no LABORSTA, seguindo a fonte a fonte dos dados empregados no estudo de Bloch et. al. (2012). O PIB chinês utilizado é o PIB paridade de poder de compra (PPC) de US\$ de 2005 (deflacionado a valores de 2010), calculado originalmente pelo Banco Mundial.

Quanto à variável estoque de capital, esta foi construída com base nos dados de formação bruta de capital fixo, PIB e trabalho do Banco Mundial, utilizando a metodologia de Conesa et. al. (1990) conforme discutido na seção 4.1.1, medida em milhões de dólares (deflacionado em valores de 2010). Estimou-se também o modelo com uma forma alternativa para a variável de capital, que é o próprio valor da formação bruta de capital fixo, para o que se utilizou a série disponível também no banco de dados do Banco Mundial.

⁴ Bem como a formação bruta de capital fixo, tendo a figura comportamental dessa variável exibida no anexo.

4.4 Análise do comportamento das variáveis no período analisado

O comportamento do PIB chinês no período estudado (1980-2010) pode ser visualizado na figura 9 (em bilhões de US\$ constantes a valores de 2010). Nota-se como a inclinação da curva se pronuncia a partir da década de 90, indicando taxas de crescimento positivas e reais bastante significativas.

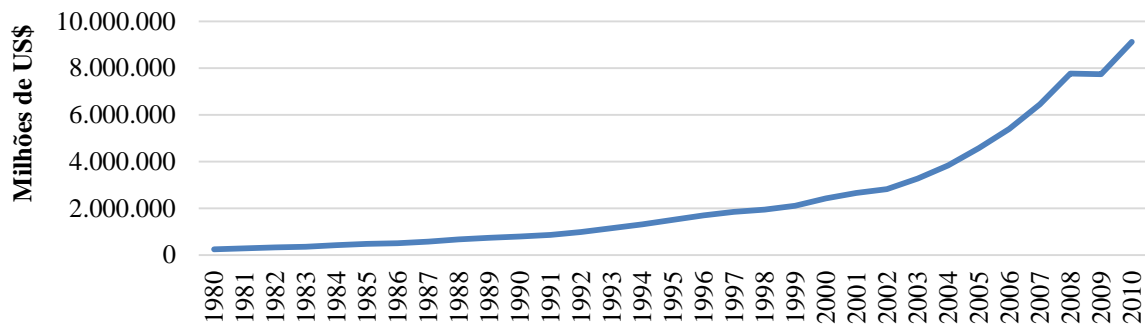


Figura 11 – Evolução do crescimento do PIB chinês (em trilhões de US\$, em valores constantes de 2010) 1980-2010.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados do IPEA. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 13 de nov. de 2015

Para a variável capital, construída com base na metodologia de Conesa et. al. (1990), tem-se o seguinte comportamento no período analisado, de 1980 a 2010, de acordo com a figura 10 (em milhões de US\$ constantes para 2010).

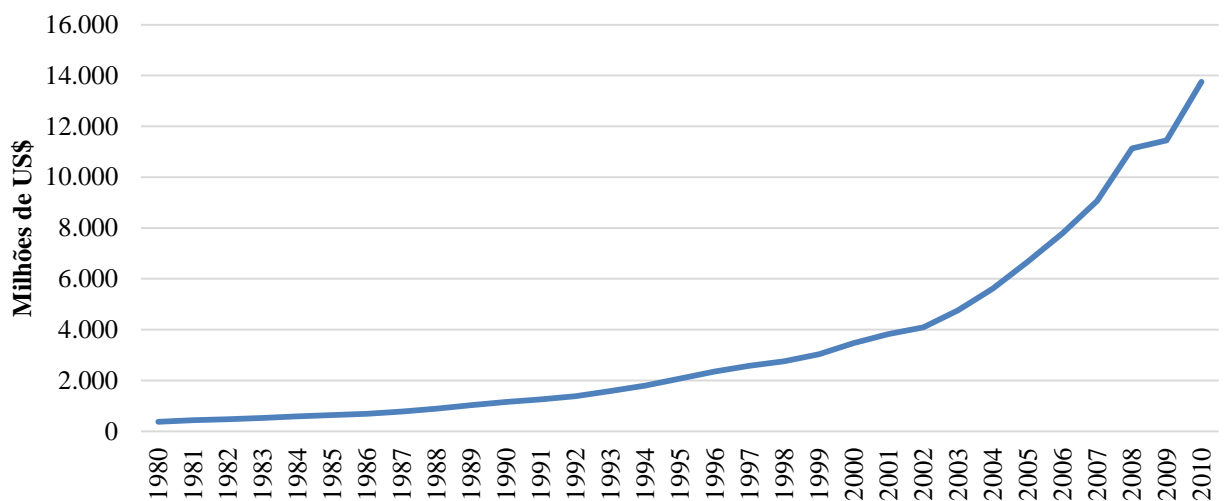


Figura 12 – Evolução da variável estimada estoque de capital da China (em US\$ Milhões constantes de 2010) 1980-2010.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base na metodologia de Conesa et. al. (1990).

Com relação à variável trabalho, utiliza-se o nível geral de emprego em milhares de pessoas, que computa toda a população empregada na China.

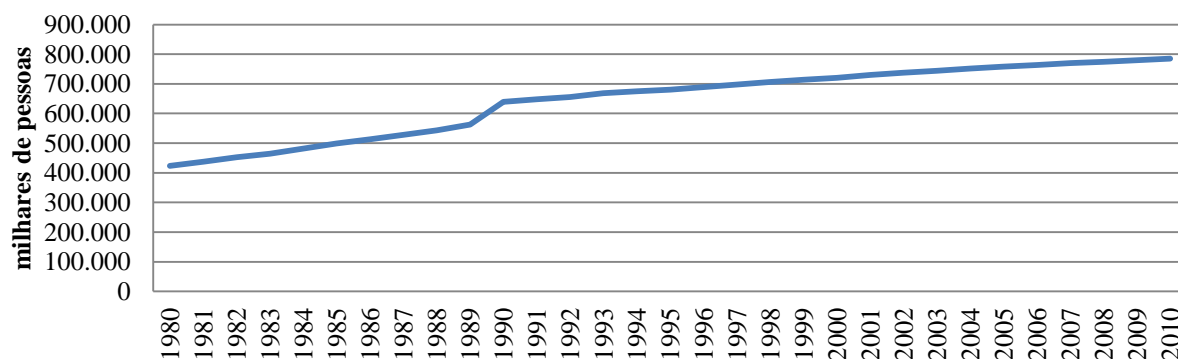


Figura 13 – Evolução do nível geral de emprego em milhares de pessoas na China de 1980 a 2010

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados do Laborsta. Disponível em: < <http://laborsta.ilo.org/default.html> >. Acesso em: 13 de nov. de 2015

Como variável de energia, utiliza-se o total de carvão consumido, em milhões de toneladas de petróleo equivalente, a partir de dados coletados no Statical Review of World Energy (2015) da British Petroleum, conforme a figura 14.

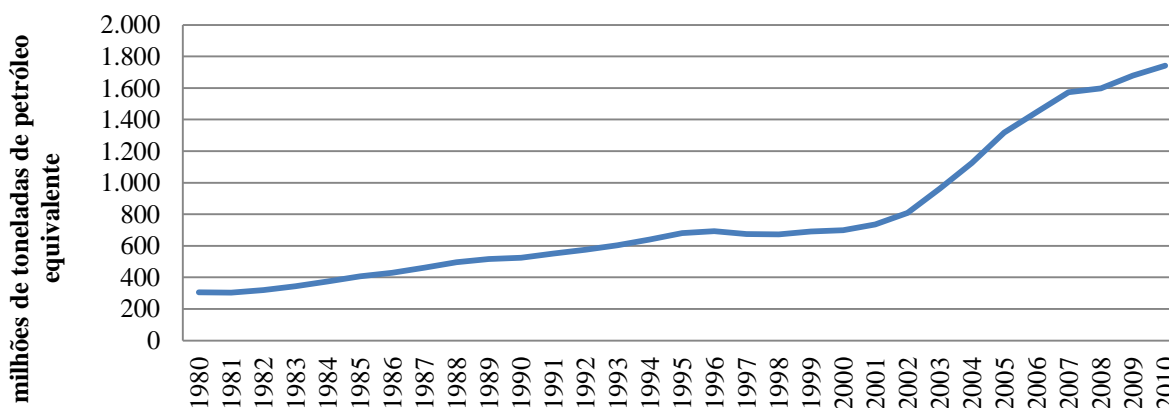


Figura 14 – Evolução do total de carvão consumido na China, de 1980 a 2010, em milhões de toneladas de petróleo equivalente.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados do Statical Review of World Energy (2015) da British Petroleum. Disponível em: < <http://www.bp.com/> >. Acesso em: 13 de nov. de 2014

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se a seguir uma discussão do que ocorre na China, em termos de crescimento do seu PIB e consumo de carvão, principal insumo utilizado para a geração de energia nesse país, o qual, inclusive, já vem realizando significativos investimentos na produção de energias alternativas, conforme salientado anteriormente.

Verifica-se uma elevada correlação entre o consumo de carvão e o PIB da China, com um coeficiente de 0,9826, conforme a figura abaixo, entre 1980 e 2010.

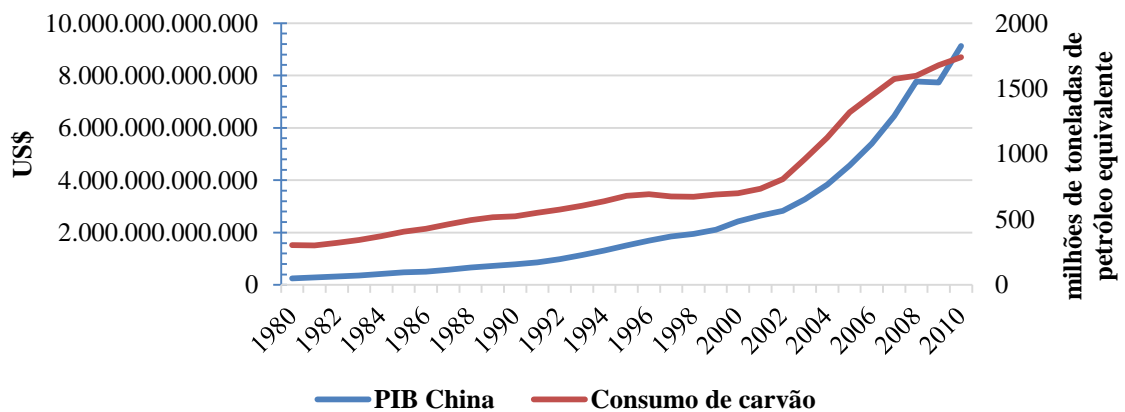


Figura 15 – Total de carvão consumido na China *versus* evolução do PIB a valores de 2010, no período 1980-2010.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base em dados Statical Review of World Energy (2015) da British Petroleum e do do IPEA (2015).

A Figura 16 mostra a matriz de relações contemporâneas do modelo empírico proposto, cujas variáveis foram selecionadas com base na função de produção Cobb-Douglas proposta por Bloch et. al. (2012).

	PIB chinês	Estoque de capital	Trabalho	Consumo de carvão
PIB chinês	1	b_1	b_2	b_3
Estoque de capital	0	1	0	0
Trabalho	0	0	1	0
Consumo de carvão	0	0	0	1

Figura 16 – Matriz de relações contemporâneas para o modelo empírico proposto.

Fonte: elaboração do próprio autor.

O modelo representado na figura 16, proposto para analisar a magnitude da contribuição da energia, medida pelo consumo de carvão, sobre o crescimento do PIB chinês, está baseado no trabalho de Bloch et. al. (2012). Diferentemente do trabalho de Bloch et al. (2012), neste trabalho utiliza-se uma variável capital construída segundo Conesa et. al. (1999) que reflete o acúmulo do capital líquido (considerada a depreciação). Assim entende-se que a adição dessas variáveis possa explicar melhor o modelo, bem como indicar seu poder de explicação no crescimento do PIB chinês. Também, com base em Fang (2011), buscou-se estimar os coeficientes de elasticidade conforme mostrado na figura 16.

A introdução da variável de consumo de carvão está inserida como uma variável para geração de energia elétrica que, na China, tem como fonte principal de geração de energia o próprio carvão, logo espera-se que a introdução dessa variável possa auxiliar na explicação da variação do PIB chinês.

5.1.1 Resultados dos testes

Os resultados a seguir referem-se aos dos testes de raiz unitária, o DF-GLS, baseado em Elliot-Rothenberg-Stock (1996). As variáveis testadas foram o PIB chinês, estoque de capital⁵ da China, Trabalho e Consumo de carvão. As séries analisadas compreendem o período de 1980 a 2010, com frequência anual, sendo tomados seus logaritmos naturais, fornecendo assim, os resultados em termos percentuais e já interpretados como elasticidades.

⁵ Cabe ressaltar que o modelo comparativo que utiliza a formação bruta de capital fixo como variável para estoque de capital encontra-se no anexo, bem como a figura com o compartimento da variável no período analisado.

A tabela 3 apresenta os resultados tanto para o modelo com tendência e constante (modelo 1) quanto para o modelo com constante apenas (modelo 2). Utilizando o número de defasagens, segundo o critério de informação de Akaike modificado (MAIC), observou-se que não se pode rejeitar a hipótese de existência de raiz unitária, considerando as variáveis integradas de ordem 1, isto é, $I(1)$ para ambos os modelos.

Tabela 3 – Resultados dos testes de raiz unitária de Elliot-Rothenberg-Stock (DF-GLS) para as variáveis do modelo proposto

Variáveis	Defasagens Modelo 1; Modelo 2	Modelo 1 Estatística DF-GLS *	Modelo 2 Estatística DF-GLS **	Ordem de integração I(d)
PIB chinês (lnPIBCh)	0;0	-1,715	1,948	I(1)
Estoque de capital (lnK)	0;0	-1,190	2,186	I(1)
Trabalho (lnL)	0;0	-0,731	-0,139	I(1)
Consumo de carvão (lnC)	1;2	-2,977	-0,267	I(1)

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa.

*Modelo 1: com constante e tendência – valores críticos obtidos de Elliot, Rothenberg e Stock (1996), sendo: 1% = -3,58; 5% = -3,03; 10% = -2,74.

**Modelo 2: apenas com constante (valores críticos em Dickey e Fuller (1976 *apud* ENDERS, 2004), sendo: 1% = -2,58; 5% = -1,95%; 10% = -1,62

Procedeu-se com o teste de co-integração proposto por Johansen (1988), analisando a estatística traço a fim de se identificar relações de longo prazo entre as variáveis do modelo. A escolha do número de defasagens utilizadas nos modelos foi definida conforme o critério multiequacional de Schwartz (SC), que indicou a utilização de uma defasagem para todas as variáveis do modelo. O modelo foi testado com tendência quadrática (*cidrift*), uma vez que foram utilizadas séries com tendência determinista, observando uma relação quadrática nas séries PIB chinês e estoque de capital.

Os resultados apresentados na tabela 4 apontam a existência de um vetor de co-integração para o modelo, uma vez que não se pode rejeitar a hipótese de existência de, no máximo, um vetor contra a hipótese alternativa de r ser maior que um. Assim, na estimação dos modelos VAR estrutural deve-se considerar que há uma relação de longo prazo entre pelo menos duas das variáveis. Logo, um Modelo Auto Regressivo com Correção de Erros (VEC) deverá ser estimado.

Tabela 4 – Resultados dos testes de co-integração para o modelo proposto.

Modelo: PIB chinês, Estoque de capital, Trabalho, Consumo de carvão.			
Hipótese nula (H0)	Hipótese alternativa	Estatística Traço	Valores críticos (5%)
r=0	r>0	72,355	63,659
r=1	r>1	28,947	42,770
r=2	r>2	9,220	25,731
r=3	r>3	4,384	12,448

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

5.1.2. Modelo Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erros – VEC

5.1.2.1 Matriz de relações contemporâneas

A estimação do modelo proposto busca analisar a influencia no PIB da China, do estoque de capital, do trabalho e do consumo de carvão. Tendo em vista os resultados do teste de raiz unitária, o modelo foi ajustado para as diferenças dos logaritmos das variáveis. Assim, tem-se o impacto em termos percentuais destas variáveis sobre o PIB Chinês.

Tabela 5 – Coeficientes estimados para a matriz de relações contemporâneas do modelo proposto.

Relações Contemporâneas		Coeficientes estimados (%)	Nível de Significância⁶
De	Sobre		
Estoque de capital	PIB Chinês	0,97	0,0000
Trabalho	PIB Chinês	-0,13	0,4080
Consumo de carvão	PIB Chinês	0,17	0,1639

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

Em termos de elasticidades, um choque positivo de 1% no estoque de capital, impacta positivamente a taxa de crescimento do PIB Chinês em 0,97%, conforme esperado de acordo com os pressupostos do modelo econômico, indicando uma relação maior do estoque de capital com o produto chinês entre as variáveis dentro das relações contemporâneas. Ressalta-se também que o fato do valor do coeficiente estimado ser o mais elevado entre os três estimados indica a importância do capital no crescimento do produto da China.

⁶ Cabe ressaltar que a estatística *t* não possui o mesmo rigor para este modelo que para os modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

No caso do trabalho, um choque positivo de 1% impacta negativamente a taxa de crescimento do PIB Chinês em 0,13%. Embora o sinal seja o contrário do esperado, se assemelha ao resultado de Fang (2011) que fazendo uso de uma função do tipo Cobb-Douglas, e estimando quatro equações, para estimar o impacto do uso de energias renováveis, também encontra uma relação negativa para o trabalho em duas de suas equações estimadas. No trabalho de Fang (2011), analisando o período de 1978 a 2008, na estimação da equação para o PIB per capita e a renda das famílias, verificou-se que uma variação de 1% no trabalho, causa um impacto negativo de 0,006% e 0,097% respectivamente. Segundo Fang (2011), isso está relacionado com a abundância de trabalho existente na China significando uma baixa produtividade marginal do trabalho.

Nesta mesma linha, mas usando metodologias distintas, outros trabalhos também encontraram relações negativas entre o aumento da população chinesa e o crescimento econômico, ou pressões sobre o mercado de trabalho, tais como Cao et. al. (2012), Michieka e Fletcher (2012), e Jian-gang e Zhe (2010), que também justificam que isso se dá devido ao grande contingente populacional chinês.

Jian-gang e Zhe (2010) estudaram o impacto populacional e de urbanização sobre o crescimento econômico chinês. Os autores encontraram um impacto negativo, ainda que pequeno, entre essas variáveis. Para eles, a explicação reside no fato de que o grande processo de industrialização ocorrido nos centros urbanos a partir do fim da década de 1970 atraiu grandes contingentes de oferta de trabalho. Porém essa grande massa populacional não foi absorvida e acomodada adequadamente, gerando pressões de ordem social e ambiental que acabaram por impactar negativamente no crescimento.

Raciocínio semelhante foi elaborado por Cao et. al. (2012). Para estes autores, nos últimos anos, grandes contingentes populacionais se deslocaram de áreas rurais para os centros urbanos. Para os autores essa grande massa populacional pressiona, de certa maneira, os recursos desses centros, tais como água, energia, serviços de transporte, causando impacto econômico negativo nesses centros. Isso, segundo Cao et. al. (2012), acaba levando o governo chinês a promover retenções das populações rurais, permitindo a vinda, apenas, de migrantes com qualificação.

Já para Michieka e Fletcher (2012), o crescimento da população urbana pode estar causando uma superlotação, levando a uma redução da eficiência econômica, semelhante ao argumento de Fang (2011). Considerando que o desenvolvimento industrial que impulsionou o crescimento econômico chinês se deu nos grandes centros urbanos, compreende-se que o

excesso de contingente populacional, em especial sem qualificação, que se reflete na oferta de trabalho, possa causar algum efeito negativo no produto da China.

Já para o consumo de carvão, observou que uma variação positiva de 1% nesta variável também eleva o PIB chinês, em 0,17%, conforme esperado, ou seja, o carvão utilizado como variável para energia elétrica mostra um impacto positivo evidenciando sua importância no produto chinês. Embora com esse resultado não se possa afirmar sobre a existência de causalidade, o mesmo auxilia na explicação da elevada correlação entre o consumo de carvão e a evolução do PIB conforme apresentado na figura 15.

5.1.2.2 Funções impulso-resposta

O objetivo desta seção é identificar e analisar os efeitos de choques não antecipados sobre as variáveis do modelo, n períodos à frente (15 anos), utilizando as elasticidades impulso-resposta. Observam-se os efeitos de choques de 1% em cada variável sobre o PIB da China.

Destaca-se o impacto no estoque de capital, cujo choque de 1% gera um aumento no PIB chinês de 0,97% no primeiro ano, e estabilizando-se em torno de 0,5%, entre o 3º e o 4º ano, o que mostra que o estoque de capital possui um efeito positivo no PIB da China em todo o período analisado.

Um choque de 1% sobre o trabalho causa inicialmente uma variação negativa de 0,13%, no PIB chinês. Conforme mencionado anteriormente, outros trabalhos também encontraram relações opostas entre essas variáveis, ainda que utilizando metodologias e períodos distintos como, por exemplo, Michieka e Fletcher (2012), que fazendo uso de funções de impulso resposta generalizados encontram um impacto negativo sobre o PIB chinês, frente a um choque na população urbana.

No entanto, embora o coeficiente seja negativo para o trabalho, observa-se, porém, que o efeito negativo ainda se acentua um pouco mais no segundo período, mas depois, a partir do 4º ano passa a ter um efeito positivo, embora singelo, estabilizando-se em torno de 0,16% ao longo do restante do período. Dessa forma, embora o trabalho tenha um efeito negativo inicialmente sobre o PIB chinês, o mesmo se torna positivo. Isso pode ser explicado por algum fator de especialização do trabalho ao longo do período que pode ter acarretado em ganhos de produtividade. Isso pode estar relacionado com as reformas econômicas realizadas na China, no início dos anos 1980, podendo ter causado um efeito negativo sobre o trabalho no curto prazo, que se reverteu logo adiante.

Vale ressaltar também que este valor para o trabalho é menor que o valor do estoque de capital, o que está em conformidade com pressuposto de teoria econômica, onde o impacto do capital é maior que o impacto do trabalho em termos de aumento de produtividade e elevação do produto.

Dos resultados obtidos, o choque do consumo de carvão sobre o PIB chinês é o mais interessante. Nesse resultado observa-se que um choque de 1% no consumo de carvão, impacta positivamente no PIB chinês em 0,17% no primeiro ano, elevando-se até o sexto ano, e estabilizando-se em torno de 1,6%. Isso indica a importância da energia para o PIB chinês conforme se esperava.

O suporte para essa explicação pode ser encontrado em Thompson (2006), Stern (1993), Stern (2000) que justificam que o impacto da energia sobre a produção é importante tanto no produto diretamente, quanto na própria composição do capital, ou seja, existe um papel da própria energia no auxílio da criação de capital, o que pode servir de explicação para o resultado apresentado na figura 17.

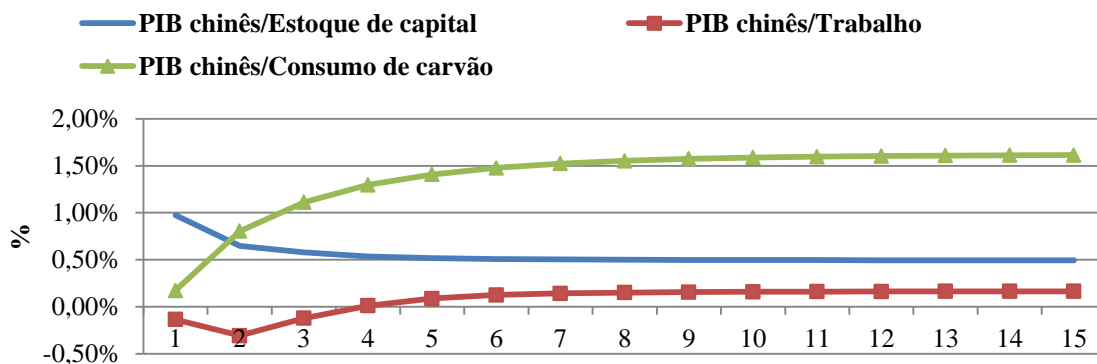


Figura 17 – Função impulso-resposta das variáveis do modelo proposto.
Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

5.1.2.3 Decomposição histórica da variância dos erros de previsão

A decomposição histórica da variância dos erros de previsão avalia o poder com que as variáveis do modelo explicam as diferenças, dentro do período da amostra, entre os valores efetivos e os previstos pelo modelo para a variável de maior interesse (PIB chinês), lembrando que os valores previstos são aqueles que captam o padrão médio de variação dessa série.

Assim, essa análise permite identificar os determinantes para que a variável de maior interesse (PIB chinês) tivesse comportamento diferente daquele previsto pelo modelo.

A Figura 18 apresenta a decomposição histórica da variância dos erros para o modelo proposto, estimado para o período entre 2000 a 2010.

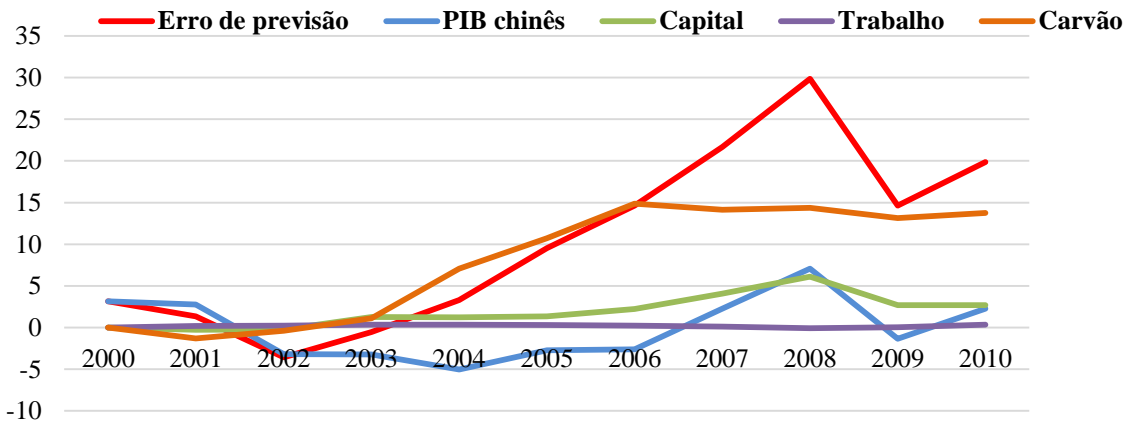


Figura 18 – Decomposição histórica da variância dos erros de previsão do modelo proposto.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

A figura 18 mostra que o erro de previsão é causado, sobretudo, por variações no consumo de carvão, ou seja, a energia pode ser observada como um fator de instabilidade para o PIB da China. Isso confirma tanto a grande preocupação do governo chinês em realizar investimentos na geração de energia a fim de conter uma possível escassez quanto indica a necessidade de diversificação da matriz para outras fontes, na tentativa de atenuar a dependência do carvão na geração de energia, e garantir seu crescimento econômico. Em seguida, o capital também contribuiu para a variação do PIB chinês, embora em menor proporção.

A figura 19 apresenta o comportamento dessas mesmas variáveis, quando consideradas em conjunto, na explicação dos erros de previsão do modelo proposto. Embora os valores previstos somado aos efeitos das variáveis se distancie, desde 2004 do efetivo PIB, ambos ainda seguem a mesma trajetória.

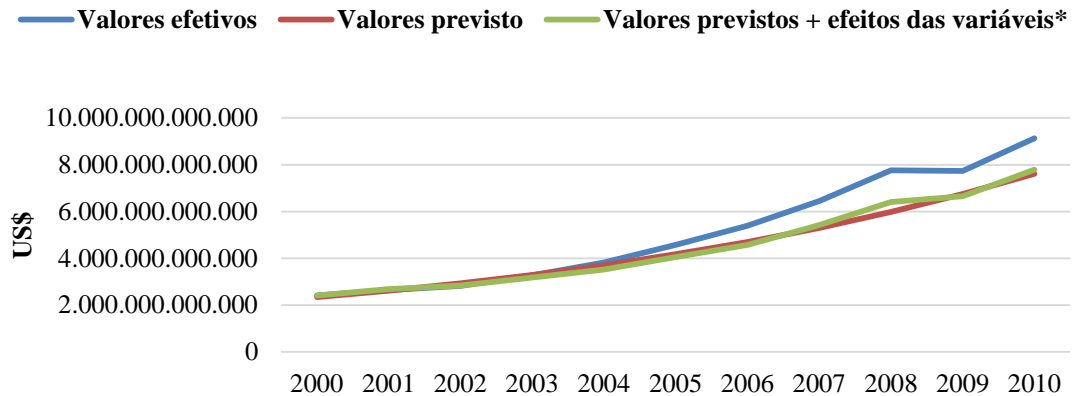


Figura 19 – Valores previstos para o PIB chinês, em comparação com os valores efetivos 2000-2010.

*Variáveis utilizadas: "Estoque de capital", "Trabalho", e "Consumo de carvão"

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

Pela Figura 19, percebe-se que a incorporação dos erros de previsão de todas as variáveis elencadas neste estudo faz com que os valores previstos se aproximem dos efetivos, inclusive no que tange às variações de trajetória que não são grandes, o que indica que o conjunto dessas variáveis possui um razoável componente determinante na explicação dos erros de previsão desse modelo, no período analisado.

Percebe-se, que, mesmo ao se considerar os erros de previsão dessas variáveis, os valores previstos se aproximam dos efetivos. Isso pode significar que o capital, trabalho e o carvão contribuem para explicar variações do PIB. Outra maneira de confirmar essa hipótese seria através da análise da distribuição ordenada dos erros de previsão, apresentada na figura 20.

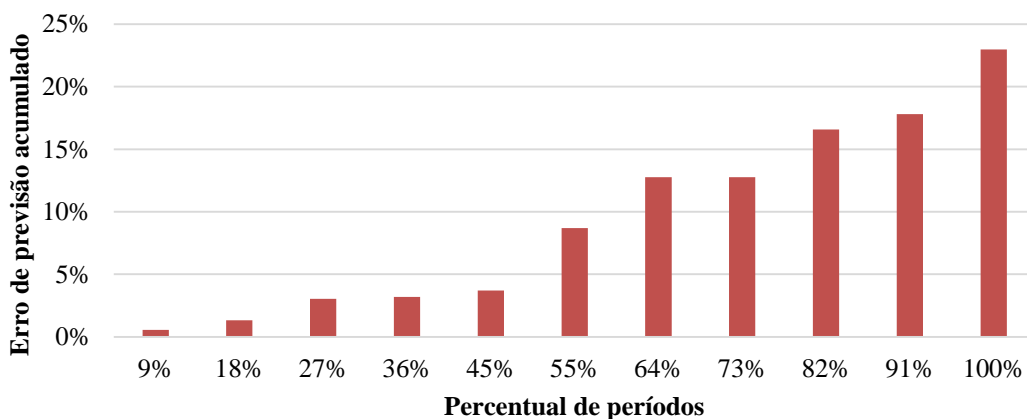


Figura 20 – Distribuição ordenada dos erros de previsão do modelo proposto.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

A figura 20 mostra que variações no estoque de capital, trabalho, e consumo de carvão explicam, em conjunto, cerca de 77,02% das variações no PIB Chinês em 100% dos períodos considerados nesta análise. Isso significa que essas variáveis possuem um bom poder de explicação nas variações do PIB chinês.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas, a China passou por significativas mudanças em sua estrutura econômica acarretando em profunda alteração de sua estrutura social, de seu modo de produção e do consumo de sua população. Seus números são impressionantes em diversos ângulos, tais como consumo e produção de energia, crescimento econômico, melhorias nos padrões de vida de sua população com considerável redução da miséria, urbanização e crescimento da população urbana.

Diante dessas profundas transformações, novos desafios e problemas surgem no sentido de como manter o ritmo de crescimento econômico, como atender a sua demanda, bem como quais decisões políticas e de planejamento devem ser tomadas para uma diminuição do consumo de combustíveis fósseis, especialmente o carvão, de modo a proporcionar redução dos impactos ambientais decorrentes da utilização desse recurso natural, em especial as emissões de GEE, haja vista que a China é, hoje, a maior consumidora de carvão do mundo, respondendo com quase a metade do carvão consumido.

Dentro dessa realidade, observa-se que a energia possui um papel chave, o que justifica sua importância na promoção da produção e no crescimento industrial e econômico, justificando também a preocupação dos formuladores de políticas da China em manter uma oferta de energia constante e crescente que atenda a esses anseios. Frente a essa realidade, a China vem buscando meios de diversificar sua matriz energética, reduzindo sua dependência em fontes de energia fósseis e aumentando a participação das renováveis. Esse esforço está em seu comprometimento com acordos internacionais de mudanças climáticas, e a elaboração de dispositivos internos como a lei dos renováveis. Dessa forma nos últimos anos observa-se o crescimento na produção chinesa de energias renováveis. Mesmo assim, a participação dos combustíveis fósseis em sua matriz energética ainda é grande, especialmente o carvão.

Os resultados apresentados neste estudo corroboram com o fato de que a energia possui um papel importante na produção, tendo como suporte teórico autores que advogam sobre a introdução e consideração da energia como um fator de produção. A incorporação de uma variável de capital baseada em uma metodologia mais adequada, que considera a depreciação e o acúmulo de capital gera resultados empíricos melhores, respondendo de forma mais aderente aos pressupostos de teoria econômica.

Cabe mencionar que a distribuição acumulada dos erros de previsão, o conjunto das variáveis, tiveram percentuais semelhantes em termos de explicação na variação do PIB

dentro do período analisado. No entanto, é recomendado o uso da variável de capital construída, pelo fato da mesma levar em consideração a depreciação sobre o capital ao longo do tempo.

Em face dos resultados apresentados, e levando em consideração as características da matriz energética chinesa, que possui uma significativa dependência no carvão, infere-se que os desafios ambientais gerados pelo crescimento econômico chinês e associado àquele fator criam uma questão atual: como manter os níveis mais recentes de crescimento econômico dependendo cada vez menos desse recurso natural, e ao mesmo tempo reduzindo suas emissões de GGE, em especial o CO₂. A boa notícia é que a China vem promovendo esforços nesse sentido, tais como a Lei dos Renováveis; investimentos em tecnologia e geração de fontes limpas de energia; diversificação e aumento de produção de energia via fontes renováveis e diminuição proporcional da dependência do carvão em sua matriz energética.

Frente a essa situação, uma transição de uma economia fortemente dependente de carvão para uma economia que dependa cada vez menos desse recurso mostra-se um desafio sem precedentes.

REFERÊNCIAS

- ASAFU-ADJAYE, J. **The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries.** *Energy Economics*, v. 22, n. 6, p. 615-625, 2000.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. **Energy consumption and growth in South America: evidence from a panel error correction model.** *Energy Economics*, v. 32, n. 6 p. 1421-1426, 2010.
- AKIMOTO, H. O.; KUROKAWA, J.; HORII, N. **Verification of energy consumption in China during 1996-2003 by using satellite observational data.** *Atmospheric Environmental*, v. 40 n. 40, p. 7663-7667, 2006.
- BERNANKE, B. S. Alternative explanations of the money-income correlation. Cambridge: **National Bureau of Economic Research**, 1986. 62p. (NBER Working Paper, 1842) Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w1842.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2014.
- BLOCH, H.; RAFIQ S.; SALIM R. Coal consumption, CO₂ emission and economic growth in China: Empirical evidence and policy responses. **Energy Economics**, v. 34, p. 518-528, Aug. 2012.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição.** Brasília, 2008. 236 p.
- BUENO, R.L.S. **Econometria de séries temporais.** São Paulo: Cengage Learning, 2008. 299 p.
- CAMPBELL, J. Y.; PERRON, P. **Pitfalls and opportunities: What macroeconomists should know about unit roots.** NBER Macroeconomists, Cambridge, Mass.: MIT Press. 1991.
- CAO, G. Y.; CHEN, G., PANG, L. H., ZHENG, X. Y., NILSSONS, S. **Urban growth in China: past, prospects, and impacts.** *Population and Environment*, v. 33, n. 2, p. 137-160, 2012.
- CATTANEO, C.; MANERA, M.; SCARPA, E. **Industrial coal demand in China: a provincial analysis.** *Resources and Energy*, v. 33, n.1, p. 12-35, 2010.
- China consumes nearly as much coal as the rest of the world combined. U. S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Washington, DC, 29 jan. 2013. Disponível em: <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=9751#>> Acesso em: 8 fev. 2014.
- CHONTANAWAT, J.; HUNT, L. C.; PIERCE, R. Causality between Energy Consumption and GDP: Evidence from 30 OECD and 78 Non-OECD Countries. **Surrey Energy Economics Centre (SEEC) Department of Economics**, n. 113, 2006.
- COBB C. W.; DOUGLAS P. H. A theory of production. **American Economic Review**, v. 18, p. 139-165, 1928.
- CONESA. J.C.; KEHOE. T. J.; RUHL.K.J. Modeling great depressions: the depressions in Finland in the 1990s. In: KEHOE, T.J.; PRESCOTT, E.C. (Org.). **Great depressions of twentieth century.** Minneapolis. Federal Reserve of Bank. 2007. p. 427-475.
- CHOW, G. C.; LI, K-W. China's Economic Growth: 1952-2010. *Economic Development and Cultural Change*, v. 51, n. 1, p. 247-256, oct. 2002.
- DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Distribution of the estimator for auto-regressive time series with a unit root.** *Journal of the American Statistical Association*, 74:427-31. 1979.
- DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Likelihood ratio statistics for auto-regressive time series with a unit root.** *Econometrica*, 49:1057-72. 1981.
- ELLIOT, G.; ROTHENBERG, T.J.; STOCK, J. H. **Efficient tests for an autoregressive unit root.** *Econometrica*, Hoboken, v. 64, n. 4, p. 813-836, July 1996.

- ENDERS, W. **Applied econometric time series**. New York: Iowa University, 2004.
- ENGLE, R. E.; GRANGER, C. W. J. **Cointegration and Error-Correction: Representation, Estimation, and Testing**. *Econometrica*, 251-76, 1987
- FANG, Y. Economic welfare impacts from renewable energy consumption: The China experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15 p. 5120-5128, 2011.
- Fundo Monetário Internacional. < <http://www.imf.org/external/index.htm> > Acesso em: 10 fev. 2014.
- GRANGER, C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. **Econometrica**, Hoboken, v. 37, n. 3, p. 424-438, Aug. 1969.
- GOVINDARAJU V. G. R. C.; TANG C. F. The dynamic links between CO₂ emissions, economic growth and coal consumption in China and India. **Applied Energy**. v 104 p. 310-318, 2013.
- GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 4.ed. São Paulo: Campus, 2006. 812 p.
- HAMILTON, J. **The series analysis**, Princeton University Press. 1994
- HOFFMANN, R. **Análise de Regressão: Uma introdução à econometria**. 4. ed. São Paulo: Hucitec, 2006. 378 p.
- INTERNATIONAL CEMENT REVIEW. **An Overview of Global Cement Sector Trends**. Lima, 2013, 25 p. Disponível em: < http://www.ficem.org/boletines/ct-2013/presentaciones2013/1-EXPERTOS/2_THOMAS-ARMSTRONG/ICR-FICEM-Presentation-Handout-30Aug13.pdf >. Acesso em: 17 ago. 2014.
- IPEADATA. < <http://www.ipeadata.gov.br/> > Acesso em: 10 fev. 2014.
- JIAN-GANG, S.; ZHE, W. **Urbanization and economic growth: a dynamic panel data study**. Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM). IEEE 17 Th International Conference, p. 295-298, 2010.
- JINKE, L.; HUALING, S.; DIANMING, G. **Causality relationship between coal consumption and GDP: difference of major OECD and non-OECD countries**. *Applied Energy*, v. 85, n. 6, p. 421-429, 2008.
- JOHANSEN, S. **Statistical analysis of cointegration vectors**. *Journal of Economics Dynamics and Control*, Amsterdam, v.12, p.231-254, 1988.
- _____ **Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models**. *Econometrica*, Nova York, v.59, n.6, p.1551-1580, 1991.
- JOHANSEN, S.; JUSELIUS, K. **Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money**. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Oxford, v.52, n.2, p.169-219, 1990.
- JUMBE, C. B. L. **Cointegration and Causality between Electricity Consumption and GDP: Empirical Evidence from Malawi**. *Energy Economics*, v. 26, p. 61-68, 2004.
- KRAFT J.; KRAFT A. **Notes and comments. On the relationship between energy and GNP**. *Journal of Energy and Development*, v. 3, p. 401-403, 1978.
- LI, R.; LEUNG, G. C. K. **Coal consumption and economic growth in China**. *Energy Policy*, v. 40, p. 438-443, 2012.
- LIN CHAN, H.; LEE, S. K. **Modelling and forecasting the demand for coal in China**. *Energy Economics*, v. 19, n. 3, p. 271-287, 1997.
- LO K. **A critical review of China's rapidly developing renewable energy and energy efficiency policies**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 29, p. 508-516, 2014.

MICHIEKA, N. M. FLETCHER, J. J. **An investigation of the role of China's urban population on coal consumption.** *Energy Policy*, v.48, p.668-676, 2012.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2006. 538 p.

OH, W.; LEE, K. **Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970-1999.** *Energy Economics*, v. 26, n. 1, p. 51-59, 2004a.

_____ **Energy consumption and economic growth in Korea: testing the causality relation.** *Journal of Policy Modeling*, v. 26, n. 8-9, p. 973-981, 2004b.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. < <http://www.oecd.org/> >. Acesso em: 17 jan. 2014.

Penn World Table. < https://pwt.sas.upenn.edu/php_site/pwt_index.php > Acesso em: 10 fev. 2014.

PRASAD, E. **China's growth and integration to world economy.** Occasional Paper, nº 232, IMF, 2004.

PETERS J. A. H. W.; OLIVER J. G. J.; JANSSENS-MAENHOUT G. Trends in Global CO₂ Emissions 2012 Report: Background Studies. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2012. 40 p.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21st CENTURY. **Renewables 2015:** Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 2015. 32 p.

REVISTA PÁGINA 22. **Um gigante com pés de carvão.** < <http://www.pagina22.com.br/2015/02/02/um-gigante-com-pes-de-carvao/> > Acesso em: 31 ago. 2015.

RICAM. **Uso do cimento: USA x China.** < <http://ricamconsultoria.com.br/news/infografico-imagens/uso-de-cimento-usa-x-china> > Acesso em: 17 ago. 2014.

SANTOS, D. T.; BATALHA, M. O. A Evolução do Consumo de Alimentos na China e seus Efeitos sobre as Exportações agrícolas brasileiras. *Revista de Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro, v.16, p.333-358, mai-ago. de 2012.

SCHUMAN S.; LIN A. **China's Renewable Energy Law and its impact on renewable power in China: progress, challenges and recommendations for improving implementation.** *Energy Policy*, v. 51, p. 89-109, 2012.

SIMS, C. **Macroeconomics and Reality.** *Econometrica*, v.48, p.1-48, Jan. de 1980.

SINTON, J. E. **Accuracy and reliability of China's energy statistics.** *China Economic Review*, v. 12, n. 4, p. 373-383, 2001.

STERN, D. I. **Energy and economic growth in the USA: a multivariate approach.** *Energy Economics*, v. 15, n. 2, p. 137-150, 1993.

_____ **A Multivariate Cointegration Analysis of the Role of Energy in the US economy.** *Energy Economics*, v. 22, n. 2, p. 267-283, 2000.

_____ **Economic Growth and Energy.** *Encyclopedia of Energy*, v. 2, p. 35-51, 2004.

TANG, C., LA CROIX, S. J. **Energy consumption and economic activity in China.** *Energy Journal*, v. 14, n. 4, p. 21-26, 1993.

THOMPSON, H. **The Applied Theory of Energy Substitution in Production.** *Energy Economics*, v. 28, n. 4, p. 410-425, 2006.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. < <http://www.unep.org/> >. Acesso em: 17 jan. 2014.

U. S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. < <http://www.eia.gov/> > Acesso em: 08 fev. 2014.

WANG, S. S.; ZHOU, D. Q.; ZHOU, P.; WANG, Q. W. **CO₂ emissions energy consumption and economic growth in China: a panel data analysis.** Energy Policy, v. 39, p. 4870-4875, 2011.

World Bank. < <http://www.worldbank.org/> > Acesso em: 08 fev. 2014.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World Steel in figures.** Bruxelas, 2013, 30 p. Disponível em: < <http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/Word-Steel-in-Figures-2013/document/World%20Steel%20in%20Figures%202013.pdf> >. Acesso em: 19 jan. 2014.

YU, E. S. H; HWANG, B.-K. **The relationship between energy and GNP: further results.** Energy Economics, v. 6, n. 3, p. 186-190, 1984.

ZHOU, Z.; WU, W.; WANG, X.; CHEN, Q.; WANG, O. **Analysis of change in the structure of rural households energy consumption in northern China: a case study.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 1, p. 187-193, 2009.

ANEXO

Anexo A - Modelo alternativo para variável capital

A variável capital pode também ser representada, como tem sido comum na literatura, pela Formação Bruta de Capital Fixo (FBKF). O modelo proposto neste trabalho foi também estimado empregando-se esta variável alternativa, tomada em seu logaritmo natural. As demais variáveis são exatamente as mesmas do modelo já apresentado no trabalho, cabendo destacar que os mesmos passos para o cálculo da raiz unitária foram tomados para testar a esta alternativa para a variável capital.

Antes de apresentar os resultados do modelo, cabe destacar que a formação bruta de capital fixo consiste no montante de investimentos realizados de um ano para o outro em máquinas e equipamentos conforme definido por Cobb-Douglas (1928). O problema de se utilizar essa variável como para o capital é que a mesma apenas expressa o valor investido anualmente em capital sem descontar o seu valor de depreciação. Para a variável Formação Bruta de Capital Fixo, tem-se o seguinte comportamento no período analisado, de 1980 a 2010, de acordo com a figura 21 (em milhões de US\$ constantes a valores de 2010).

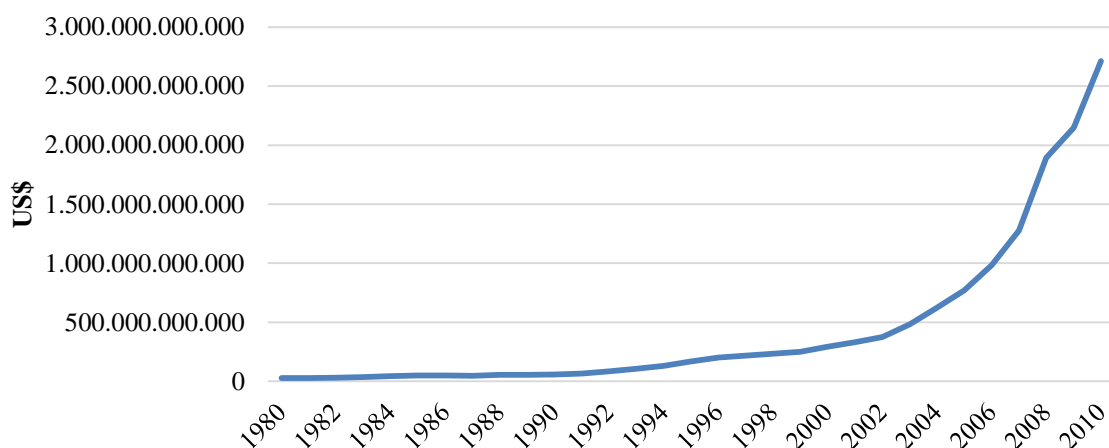


Figura 21 – Evolução da Formação Bruta de Capital Fixo (FBKF) da China (em US\$ Milhões constantes de 2010) 1980-2010.

Fonte: Banco Mundial (2015).

A tabela 6 apresenta os resultados tanto para o modelo com tendência e constante (modelo 1) quanto para o modelo apenas com constante (modelo 2).

Tabela 6 – Resultados dos testes de raiz unitária de Elliot-Rothenberg-Stock (DF-GLS) para as variáveis do modelo com FBKF

Variáveis	Defasagens Modelo 1; Modelo 2	Modelo 1 Estatística DF-GLS *	Modelo 2 Estatística DF-GLS **	Ordem de integração I(d)
PIB chinês (lnPIBCh)	0;0	-1,715	1,948	I(1)
Formação Bruta de Capital Fixo (lnFBKF)	8;1	-1,417	0,456	I(1)
Trabalho (lnL)	0;0	-0,731	-0,139	I(1)
Consumo de carvão (lnC)	1;2	-2,977	-0,267	I(1)

Fonte: Elaboração do autor, com base nos dados da pesquisa.

*Modelo 1: com constante e tendência – valores críticos obtidos de Elliot, Rothenberg e Stock (1996), sendo: 1% = -3,58; 5% = -3,03; 10% = -2,74.

**Modelo 2: apenas com constante (valores críticos em Dickey e Fuller (1976 *apud* ENDERS, 2004), sendo: 1% = -2,58; 5% = -1,95%; 10% = -1,62

Os resultados apresentados na tabela 7 são referem-se ao teste de co-integração para o modelo alternativo.

Tabela 7 – Resultados dos testes de co-integração para o modelo com FBKF.

Modelo: PIB chinês, FBKF, Trabalho, Consumo de carvão.			
Hipótese nula (H0)	Hipótese alternativa	Estatística Traço	Valores críticos (5%)
r=0	r>0	68,760	63,659
r=1	r>1	44,146	42,770
r=2	r>2	14,278	25,731
r=3	r>3	3,168	12,448

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

Na tabela 8 estão apresentados os coeficientes estimados para a matriz de relações contemporâneas do modelo alternativo.

Tabela 8 – Coeficientes estimados para a matriz de relações contemporâneas do modelo com FBKF.

Relações Contemporâneas		Coeficientes estimados (%)	Nível de Significância ⁷
De	Sobre		
FBKF	PIB Chinês	0,28	0,0000
Trabalho	PIB Chinês	-0,32	0,2119
Consumo de carvão	PIB Chinês	-0,15	0,2918

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

Na sequência tem-se a função impulso-resposta utilizando a FBKF (figura22).

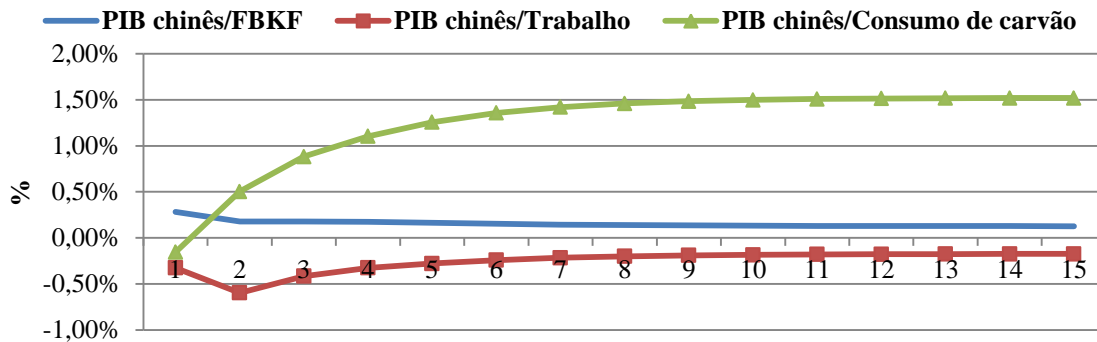


Figura 22 – Função impulso-resposta utilizando a FBKF.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

A Figura 23 apresenta a decomposição histórica da variância dos erros para o modelo alternativo, estimado para o período entre 2000 a 2010.

⁷ Cabe ressaltar que a estatística *t* não possui o mesmo rigor para este modelo que para os modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

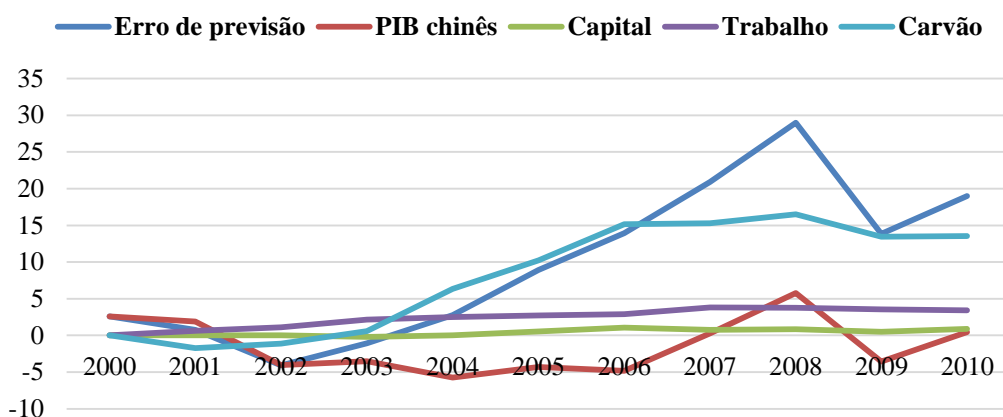


Figura 23 – Decomposição histórica da variância dos erros de previsão utilizando a FBKF.

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

A figura 24 apresenta o comportamento dessas mesmas variáveis, quando consideradas em conjunto, na explicação dos erros de previsão do modelo com FBKF.

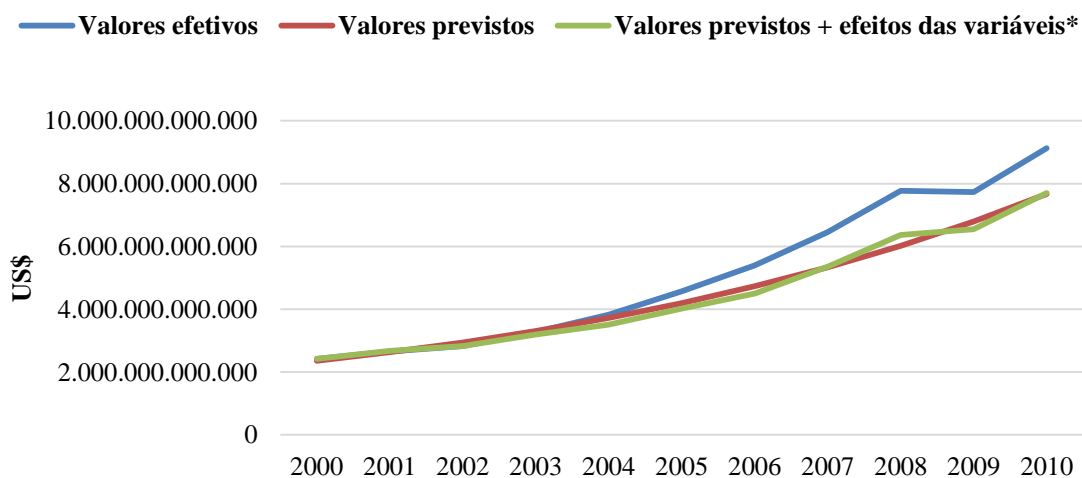


Figura 24 – Valores previstos para o PIB chinês, em comparação com os valores efetivos 2000-2010 com a FBKF.

*Variáveis utilizadas: "Formação Bruta de Capital Fixo", "Trabalho", e "Consumo de carvão"

Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa

E na figura 25 tem-se a análise da distribuição acumulada dos erros de previsão para o modelo com FBKF.

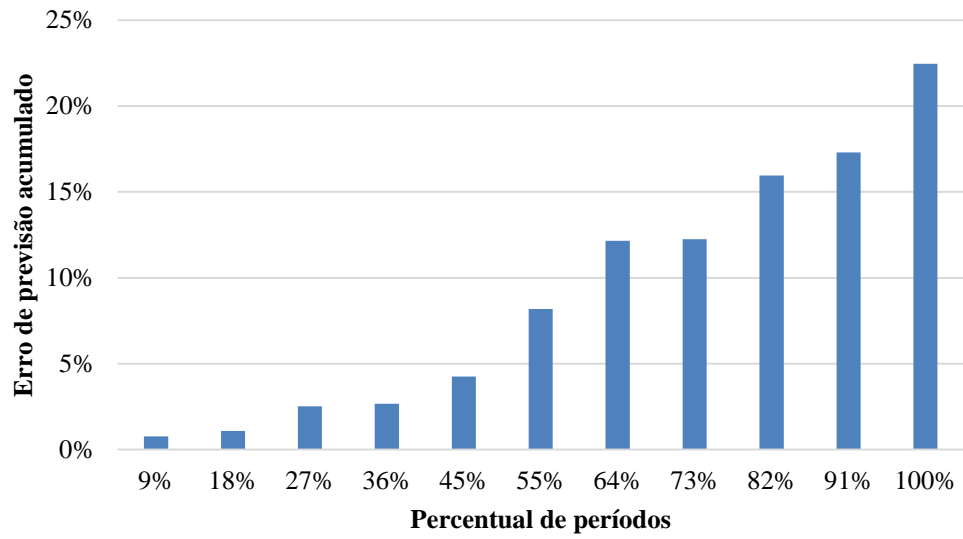


Figura 25 – Distribuição ordenada dos erros de previsão do modelo com FBKF.
Fonte: Elaboração do próprio autor, com base nos dados da pesquisa.