

Universidade Federal de Juiz de Fora
Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada

Amir Borges Ferreira Neto

**ESTRUTURA DE DEMANDA E USO DE ENERGIA:
uma análise de insumo-produto para países selecionados (1995 e 2005).**

Juiz de Fora

2012

Amir Borges Ferreira Neto

**ESTRUTURA DE DEMANDA E USO DE ENERGIA:
uma análise de insumo-produto para países selecionados (1995 e 2005).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Salgueiro Perobelli

Co-Orientação: Prof. Dra. Suzana Quinet de Andrade Bastos

Juiz de Fora

2012

Ferreira Neto, Amir Borges.

Estrutura de demanda e uso de energia: uma análise de insumo-produto para países selecionados (1995 e 2005) / Amir Borges Ferreira Neto. – 2012.

80 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)–Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

1. Recursos energéticos. 2. Desenvolvimento econômico. I. Título.

CDU 620.91:32

Amir Borges Ferreira Neto

**ESTRUTURA DE DEMANDA E USO DE ENERGIA:
uma análise de insumo-produto para países selecionados (1995 e 2005).**

Dissertação apresentada ao Programa Mestrado em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Salgueiro Perobelli (orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dra. Suzana Quinet de Andrade Bastos (co-orientadora)
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Rogério da Silva Mattos
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Eduardo Amaral Haddad
Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador prof. Fernando Perobelli, que me acompanhou desde a graduação, agradeço a oportunidade de estar aqui hoje. Obrigado por acreditar em mim e no meu potencial! Os quatro anos em que trabalhamos juntos foram de muito aprendizado e conquistas, e seus conselhos e amizade foram fundamentais para minhas escolhas acadêmicas, profissionais e pessoais. Espero que a parceria iniciada na iniciação científica não acabe por aqui, e possamos continuar a desenvolver trabalhos em conjunto!

À prof. Suzana Quinet, minha co-orientadora, não tenho palavras para expressar meus agradecimentos. Sem você essa dissertação não estaria onde se encontra hoje. Obrigado por ter acompanhado de perto desde o início o trabalho, com sugestões e críticas sempre construtivas, e ter aceitado este papel crucial, de co-orientação aos “40 minutos do segundo tempo”! Muito obrigado por tudo!

Aos profs. Eduardo Haddad, a quem também agradeço por aceitar o convite de participar da defesa desta dissertação, Joaquim Guilhoto e Carlos Azzoni, por terem me recebido no NEREUS (Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo) durante o mestrado sanduíche. O período de convivência com vocês acrescentou de maneira substancial meu desejo de ser um pesquisador. Obrigado por todos os ensinamentos! No mesmo sentido agradeço ao pesquisador Alexandre Porsse, com quem dividi por 5 meses a sala de estudos – obrigado pelos conselhos e contribuições! Ao colega Luiz Gustavo, por ter me recebido em São Paulo.

Aos demais professores do PPGA Eduardo Gonçalves, Eduardo Almeida, Ricardo Freguglia, Silvinha Vasconcelos, Cláudio Vasconcelos, Rogério Mattos, Fernanda Perobelli, Wilson Rotatori e José Simão, por compartilharem seus conhecimentos e instigarem a busca por mais. Aos funcionários, em especial à Cida, por toda dedicação sempre que me recebeu!

À Capes, UFJF e Fapemig pelo auxílio financeiro durante todo o programa de pós-graduação.

Aos colegas de mestrado, em especial à Gláucia, parceira de estudos desde o início, e com quem dividi cada etapa deste processo! Espero que possamos continuar a trabalhar juntos!

Aos meus pais, Amir e Valéria, e meus irmãos, Daniel e Raquel, obrigado por todo amor, incentivo, paciência e compreensão!

RESUMO

Insumos energéticos são essenciais e possuem poucos substitutos. O consumo energético, além de estar associado ao bem-estar das famílias, é indispensável em qualquer processo produtivo. O crescimento e desenvolvimento econômico dos países não membros da OCDE vêm acarretando em modificações na estrutura de demanda das famílias e na estrutura produtiva dos países por meio do progresso técnico, o que modifica a demanda pelos diferentes insumos energéticos. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar como a mudança nestes elementos associados à demanda, i.e. demanda das famílias e estrutura de produção, afetam o uso de energia em países emergentes (Brasil, China e Índia) e em países desenvolvidos (Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos). Para tanto, foram utilizadas matrizes de insumo-produto de 1995 e 2005, utilizando-se da técnica de Análise de Decomposição Estrutural. Os seguintes resultados podem ser destacados: i) os setores que se verificam como importantes fornecedores da economia são setores que fazem maior uso de energia; ii) para a demanda das famílias o efeito quantidade demandada é em geral maior que o efeito alocação da demanda, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento; iii) para a contribuição tecnológica, a parcela referente apenas à variação dos insumos energéticos é maior em geral que a parcela relativa aos insumos não energéticos, tanto para os países desenvolvidos como os emergentes.

Palavras-Chave: Demanda, Estrutura Produtiva, Matriz de Insumo-Produto, Uso de Energia.

ABSTRACT

Energetic inputs are essential and have few substitutes. The energy consumption is associated to households' well-being and is needful in any productive process. The economic growth and development of non-OECD countries is causing modification in households' structure of demand and in the production structure through technical progress, which changes the demand by the different energy inputs. In this context, this thesis goal is to access how the changes in the elements associated to the demand, i.e. households' demand and production structure, impact the use of energy in developing countries (Brazil, China and India) and in developed countries (Germany, United Kingdom and United States). To achieve such objective we used input-output matrix of 1995 and 2005, applying the Structural Decomposition Analysis. The following results can be highlighted: i) the sectors verified as main suppliers in the economy are those which use more energy; ii) for the households' demand the quantity effect is in general higher than the allocation effect, in both developed and developing countries; iii) for the technological contribution, the portion referring only the changes in the energetic inputs is in general higher than the portion regarding the changes in the non-energetic inputs, in both developed and developing countries.

Key-Words: Demand, Input-Output, Production Structure, Use of Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demanda	20
Figura 2 – Oferta	22
Figura 3 - Energia primária total consumida entre 1800 e 2000	24
Figura 4 - Escada energética <i>versus</i> desenvolvimento econômico	24
Figura 5 - Representação de uma estrutura de insumo-produto	29
Figura 6 – Visualização da Análise de Decomposição Estrutural.....	47
Figura 7 – Resultados agregados da ADE.....	48
Figura 8 – Resultados desagregados para Contribuição das Famílias.....	49
Figura 9 – Resultados desagregados para Contribuição Tecnológica.....	50
Figura 10 – Setores com contribuições positivas para PIE e PINE nos países em desenvolvimento.....	51
Figura 11 – Setores com contribuições positivas para PIE e PINE nos países desenvolvidos.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compatibilização dos setores do Balanço Energético e Matriz Insumo-Produto ...	39
Tabela 2 - Agregação do Balanço Energético por tipo de insumo	40
Tabela 3 - Valor Bruto da Produção e Valor Adicionado por grupos de setores (%)*	41
Tabela 4 - Consumo energético dos grupamentos setoriais por tipo de insumo (%)**	42
Tabela 5 – Índice de Hirschman-Rasmusen e Índice Puro de Ligação.....	46
Tabela 6 – Setores que mais contribuem para as parcelas tecnológica total, tecnológica de insumos energéticos e tecnológica de insumos não energéticos	53
Tabela 7 – Resultados da ADE desagregados para Carvão.....	56
Tabela 8 – Resultados da ADE desagregados para Petróleo e Gás	57
Tabela 9 – Resultados da ADE desagregados para Renováveis.....	58
Tabela 10 – Resultados da ADE desagregados para Eletricidade	60
Tabela 11 – Resultados da ADE desagregados para Outros	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro resumo dos resultados desagregados para cada país	65
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. ECONOMIA E ENERGIA	15
2.1. Economia da Energia.....	15
2.2 Consumo e Energia.....	18
2.3. Energia, Desenvolvimento Econômico e Progresso Tecnológico.....	23
3. MODELO DE INSUMO-PRODUTO	28
3.1. Modelo Básico.....	28
3.2. Modelo Híbrido	31
3.2.1 Análise de Decomposição Estrutural.....	32
3.2.3 Vantagens e desvantagens da Análise de Decomposição Estrutural.....	36
3.3 Base de Dados	37
3.2.1 Setores fornecedores na economia	43
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.1 Análise Agregada	48
4.2 Resultados por tipo de insumo	55
5. CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	75
Anexo I – Setores da Matriz Insumo Produto	75
Anexo II – Compatibilização do Balanço Energético com ISIC.....	76
Anexo III – Setores do ISIC	77
Anexo IV – Variação do Produto e Contribuições Agregadas.....	78
Anexo V – Contribuições Setoriais da Parcela de Insumos Energéticos	79
Anexo VI – Contribuições Setoriais da Parcela de Insumos Não-Energéticos	80

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia sempre atendeu às mesmas necessidades básicas do homem (calor, luz, lubrificação, transporte, força mecânica, entre outros), de forma que ao longo do tempo o que variou foi a forma de prover essa energia (DAHL, 2004). Com o constante desenvolvimento da sociedade, esse consumo energético vem aumentando, principalmente no pós-Segunda Guerra Mundial.

O uso de energia está historicamente associado à dominância, seja essa militar ou econômica. A descoberta do fogo, e posteriormente o uso de força animal para agricultura, fez com que as sociedades primitivas pudessem se desenvolver. Na China o uso de pólvora já era realizado 5000 anos antes de Cristo, e com esta a expansão do império chinês foi realizada. Mais recentemente é possível citar o exemplo da Segunda Guerra Mundial com a bomba atômica. A dominância não associada às guerras é destacada por Toman e Jemelkova (2003) evidenciando o uso energético relacionado ao bem-estar das pessoas, como no lazer, conforto, entre outros (bens de consumo).

Ambos os crescimentos, de consumo de diferentes formas de energia e o econômico vivenciado pelo mundo no último século, fazem da interligação dos temas um foco de interesse de estudos. Por um lado pode-se considerar a energia como um bem escasso e, portanto, passível do estudo econômico de gestão dos recursos. Por outro lado a energia é um insumo importante no processo produtivo, que segundo Peet (2004) não possui substitutos, e, como mostra a história, está ligada diretamente ao desenvolvimento econômico.

O aumento do interesse do estudo da energia pela economia ocorre principalmente após o primeiro choque do petróleo em 1973. Entre os principais temas analisados estão o desenvolvimento econômico e sua relação com a energia e a temática de formação e aplicação de preços. Ainda devem ser ressaltados temas mais recentes como a escassez, substitutibilidade, eficiência e meio ambiente.

Um ponto relevante no estudo da energia é que, com o desenvolvimento da teoria econômica, houve um distanciamento da ciência econômica e do estudo da energia com aplicabilidade das leis físicas. Peet (2004) afirma que as leis físicas da termodinâmica são aplicáveis, sem exceção, em todos os processos físicos na Terra, incluindo os processos

econômicos. Para a física, a energia na economia está relacionada ao consumo de combustíveis, uma vez que os processos econômicos de consumo e produção necessitam dos serviços gerados pela energia.

Uma restrição física é que, acabando os recursos acessíveis, dever-se-ia buscar por mais recursos que estariam inacessíveis. Assim, mais energia seria requerida, já que os demais requerimentos não diminuiriam. Portanto, com menos material e menor qualidade desses materiais, haveria decréscimo da oferta energética (PEET, 2004). Quanto à substitutibilidade, o autor afirma que a busca por substituição energética está focada nos requerimentos de minimização dos impactos adversos no sistema natural enquanto nada é feito diretamente para resolver as necessidades básicas das pessoas.

Entretanto, para haver a substituição de fontes energéticas é necessário que haja infraestrutura para usufruir dessas outras fontes. Um exemplo é a impossibilidade de acender uma lâmpada com carvão, sendo necessário um processo produtivo que modifique a energia gerada pelo carvão em eletricidade e meios de levar esta para o consumidor final. O exemplo evidencia que as famílias possuem menos substitutos no que se refere ao insumo energético do que as firmas, ainda que no longo prazo, revelando maior inelasticidade-preço das famílias à energia.

De maneira geral a eficiência energética é uma política compartilhada por diversos países, cujos benefícios, entre outros, incluem a redução do uso energético com investimentos em infraestrutura, menor dependência de combustíveis fósseis, maior competitividade, bem-estar do consumidor e, não menos importante, benefícios ambientais (IEA, 2008). Porém a eficiência energética não é o único fator impactante no uso de energia.

Os preços dos insumos são importantes na determinação de sua maior ou menor participação no processo produtivo, e, apesar de as fontes energéticas não serem substitutas perfeitas, a variação dos preços entre as diferentes fontes pode indicar uma mudança futura no processo produtivo. Isso se deve ao fato de que as firmas e famílias optariam por fontes energéticas mais baratas ou, em casos mais extremos, reduziriam seus usos. Porém deve ser ressaltado que a mudança na estrutura energética do processo de produção de uma firma, decorrente das variações de preços, é um processo lento, ou seja, os preços têm uma influência maior a médio e longo prazo. Em geral, destaca-se que os preços pagos pelas famílias são maiores do que pela indústria, dado o nível de consumo.

Estudo da Agência Internacional de Energia (IEA, 2008) aponta alguns resultados globais acerca do consumo de energia, dos quais alguns merecem destaque como: i) o

aumento do uso energético em 23% entre 1990 e 2005 nos países membros da OCDE¹, sendo que nos países não membros esse aumento foi maior; ii) o petróleo ainda é a *commodity* energética de uso final de maior participação; iii) a biomassa e o carvão permanecem importantes em países não membros da OCDE, mas vem perdendo espaço para os demais insumos; iv) a redução de intensidade energética foi maior nos países não membros da OCDE, sendo os principais fatores da redução as mudanças estruturais e a eficiência; v) o uso final de energia nos países não membros da OCDE representa 23% do nível dos países membros; vi) o consumo das famílias entre 1990 e 2005 aumentou em 22% nos países da OCDE e 18% em países não membros; vii) no *mix* de insumos energéticos consumido pelos países da OCDE a participação das fontes não renováveis vem aumentando, enquanto para países não membros, as fontes renováveis são a de maior participação, e também as que mais crescem.

Os países, em sua maioria, não produzem tudo o que consomem, principalmente no que se refere a *commodities* energéticas. Os países podem ser importadores líquidos ou autosuficientes. Um exemplo para o primeiro é os Estados Unidos, que depende da produção externa para abastecer o mercado nacional. Os países autosuficientes podem produzir aquilo que consomem ou ter sua balança comercial superavitária, para um produto específico – atual cenário no Brasil para energia. De maneira global, os países da OCDE produzem menos energia que os países não membros.

Como destacado, os países não membros da OCDE vêm aumentando seu papel no que se refere ao consumo de energia, e grande parte, isto é consequência de seu crescimento econômico. Esse processo de crescimento econômico induz um aumento do consumo de energia que pode ser explicado, em parte, pela variação na produção de insumos; pelo aumento da renda derivado do crescimento da economia; e pela aquisição de bens de consumo por parte das famílias. O aumento do consumo de energia, porém, será neste caso menos dependente de fontes altamente poluidoras, uma vez que, como evidenciado pela IEA (2008), os países não membros da OCDE têm em sua maioria grande participação de fontes renováveis em suas matrizes energéticas.

Devido às questões apresentadas – países não membros da OCDE estão crescendo e aumentando seu consumo energético a taxas maiores que os países membros da OCDE; a demanda por energia é importante para explicar o crescimento e o desenvolvimento dos países; a demanda por energia permeia outros pontos-chave como substituição entre fontes,

¹ Os países membros da OCDE a partir de 2010 são: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Coreia do Sul, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Islândia, Israel, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos (Holanda), Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Suécia, Suíça, Turquia.

infraestrutura, renda, entre outros – torna-se importante entender como o setor energético está inserido na cadeia produtiva, nas economias emergentes e nas economias já consolidadas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é responder a duas questões principais: i) como fatores associados à demanda (demanda das famílias e mudança na estrutura produtiva) afetam o uso dos insumos energéticos?; ii) Este processo se dá de maneira similar em economias já consolidadas e em economias emergentes?

Para buscar responder a essas questões, decidiu-se de forma comparativa avaliar, por meio de matrizes de insumo-produto, Brasil, China e Índia, países em desenvolvimento, com modificações estruturais recentemente (década de 1990) e que apresentam estruturas produtivas em consolidação; e Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido, países já desenvolvidos com importantes estruturas produtivas mundiais, já consolidadas. O período de análise foi estabelecido entre 1995 e 2005, por compreender o período de estabilização e mudanças estruturais² nas economias emergentes.

De maneira mais específica será realizada a análise de decomposição estrutural que permitirá decompor a variação do produto final, no caso a variação do uso de energia, em uma parte explicada por variações no processo produtivo, a qual será dividida nas mudanças relativas ao uso dos insumos energéticos e não energéticos, que, por sua vez, serão desagregadas setorialmente; e uma segunda parte referente aos componentes da demanda final, de maneira que essa parte será decomposta em efeitos de nível, ou quantidade consumida, e de *mix* de produtos, ou cesta de bens consumida.

Além desta introdução este trabalho está dividido em mais quatro capítulos como segue: no segundo capítulo é realizada uma revisão de literatura sobre economia e energia, demanda e desenvolvimento econômico e progresso tecnológico. No capítulo 3, apresenta-se a metodologia de insumo-produto, as técnicas e o banco de dados utilizados. No capítulo 4 os resultados encontrados são analisados. O quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho.

² Entre as mudanças estruturais se destacam as modificações institucionais, o crescimento e melhor distribuição de renda, entre outros.

2. ECONOMIA E ENERGIA

O objetivo deste capítulo é apresentar a importância econômica do tema energia. Num primeiro momento, é realizada uma breve discussão da definição do que é “Economia da Energia” – escopo deste trabalho. Logo após discute-se a questão de demanda e energia. Por fim é feita uma breve discussão a respeito do desenvolvimento econômico e progresso tecnológico ligado ao uso energético.

2.1. Economia da Energia

A economia da energia está focada no estudo das leis, instituições e mercados relativos à remoção e uso de recursos energéticos (LAKSHAMAN e BOLTON, 1986). Bhattacharyya (2011) afirma que a economia da energia surgiu após o primeiro choque do petróleo como uma nova ramificação da teoria econômica, cujo problema econômico também é a alocação de recursos escassos na economia.

Esse campo de estudos é, portanto, relativamente recente no debate econômico, apesar de a discussão energética ter, de alguma maneira, ocorrido no princípio da história do pensamento econômico. Christensen (2004) aponta como Quesnay e Hobbes, por exemplo, tinham a preocupação com a discussão da energia, principalmente devido ao seu caráter físico, e como esta foi perdendo espaço no debate econômico, principalmente a partir da formalização da teoria econômica neoclássica.

O autor destaca que na abordagem neoclássica há dois pilares: os bens são escassos, e a produtividade marginal é decrescente. Assim, com um aumento no insumo, *ceteris paribus*, ocorreria um aumento na produção de forma decrescente, porém, de acordo com a lei da termodinâmica isso seria impossível, pois, de acordo com esta, é necessário energia para haver alguma transformação³. O desenvolvimento da abordagem neoclássica levou à eliminação dos processos energéticos e materiais da teoria econômica, havendo, portanto, um

³ Neste caso o *ceteris paribus* também supõe que a energia envolvida no processo seria mantida constante.

afastamento da abordagem da produção⁴, que, junto da aplicação cada vez maior de métodos matemáticos sofisticados, culminou na adoção do princípio da conservação geral da energia. Assim as questões problemáticas⁵ seriam evitadas (CHRISTENSEN, 2004).

Com o afastamento da temática energética da teoria econômica, este debate foi lento até meados da década de 1960 e início da década de 1970, quando ocorreu o primeiro choque do petróleo. Até então se sabia da necessidade do insumo energético, porém como outro qualquer, mas a partir daí o debate sobre o insumo energético ganhou maior relevância. Stern (2004) afirma que economistas financeiros e administradores têm em vista os preços das *commodities* energéticas e seu papel no desempenho econômico, embora a teoria “*mainstream*” dê pouca importância ao papel da energia e outros recursos naturais na economia, sendo a discussão pós-crise de 1970 uma exceção. Nos últimos anos, entretanto, é possível perceber um maior debate sobre esse tema, principalmente pela sua interligação com o tema de recursos naturais⁶.

Com a não inclusão do debate energético pela teoria econômica, economistas e outros estudiosos que lidam com esta problemática costumam criticar os modelos econômicos por alguns motivos, quais sejam: i) substituição entre energia e outros insumos; ii) variação tecnológica; iii) mudança na composição dos insumos energéticos; e iv) mudanças na composição do produto (STERN, 2004).

Parte dos estudos sobre economia e energia vem sendo realizado sob dois aspectos, um de demanda e outro de processo produtivo. Para o caso dos trabalhos com enfoque na demanda, os pesquisadores se centram em duas formas mais comuns: a primeira relacionada à demanda de energia, buscando previsões para a mesma; e a segunda, de como a energia é limitadora do crescimento econômico, analisando a relação de longo prazo entre consumo de energia e PIB. Trabalhos com este foco foram desenvolvidos para diversos países, incluindo o Brasil, ou até regiões específicas, e alguns podem ser destacados como os de Glasure e Lee (1997), Sori e Soytaş (2003), Oh e Lee (2004a, 2004b), Schmidt e Lima (2004), Mattos e Lima (2005)⁷.

, No caso de estudos com foco no processo produtivo, há maior importância com a determinação do consumo na cadeia produtiva, determinantes nas mudanças do padrão de consumo, quantidade de emissões decorrentes do uso de energéticos, entre outras. Esses

⁴ Esta abordagem não faz referência à Teoria Neoclássica da produção, mas ao processo produtivo em si.

⁵ Christensen (2004) se refere a questões físicas de termodinâmica, dissipação da energia, etc. O autor deixa claro que, uma vez adotadas as suposições apresentadas no modelo econômico, estes problemas são de pouca importância.

⁶ Para uma discussão maior sobre a questão ambiental ver Hilgemberg (2004).

⁷ Para mais trabalhos ver Goldemberg (2004).

trabalhos utilizam em sua maioria matrizes insumo-produto, e desses podem ser destacados o de Ang (1995), Hawdon e Pearson (1995), Lin e Polenske (1995), Proops *et al* (1996), Lenzen (1998), Mukhopadhyay e Chakraborty (1999), Kagawa and Inamura (2001, 2004), Alcantara e Padilla (2003), Machado, Schaeffer e Worrell (2001), Hilgemberg e Guilhoto (2006), Perobelli, Mattos e Faria (2007) e Mattos *et al* (2008).

Darmstadter, Dunkerley e Alterman (1977) evidenciam que diferenças setoriais avaliadas numa perspectiva mais ampla, como, por exemplo, Energia/PIB, mascaram evidências importantes. Assim, o estudo da estrutura produtiva é importante para entender a relação de consumo energético, dada a existência de diferenças nos processos produtivos de cada país.

O estudo econômico-geográfico da energia também se mostra relevante, principalmente no que concerne às comparações internacionais ou entre regiões. De acordo com Solomon (2004), existem oito problemas básicos discutidos de forma econômico-geográfica: (i) Separação entre oferta e demanda, o que é importante na determinação do preço, além de ter relação com desejo da fonte energética, custo pecuniário e eficiência, por exemplo; (ii) Escassez crescente de combustíveis fósseis; (iii) Impactos ambientais; (iv) Questão nuclear; (v) Fontes renováveis⁸, que envolve, assim como os itens (i) e (ii), a distribuição geográfica igualitária; (vi) Desregulamentação elétrica; (vii) Geopolítica, que também envolve os itens (iii) e (iv); e (viii) Variações tecnológicas e eficiência, que ocorrem de maneiras diferentes no espaço.

Fouquet (2010) faz uma discussão do uso de energias renováveis e crescimento econômico através da história. O autor aponta como as sociedades utilizaram esses tipos de energia e mantiveram um padrão de crescimento e quais limitações foram impostas por essa utilização. Uma das conclusões é que a transição para energia de baixo carbono é difícil de acontecer enquanto a sociedade não gerar serviços energéticos mais baratos que combustíveis fósseis.

Numa linha paralela à de economia da energia, Carley *et al* (2011) definem e revisam o termo ou subcampo de estudos *Energy-Based Economic Development* (Desenvolvimento econômico baseado em energia). Os autores apresentam o surgimento do campo/termo a partir do encontro entre estudos da economia da energia com estudos de desenvolvimento

⁸ Destaca-se que os países dos BRICS são importantes neste debate, sendo os principais produtores e usuários de fontes renováveis, com destaque para Índia no uso de energia eólica e solar, Brasil no uso de biomassas e hidráulica, África do Sul no uso de energia solar (SOLOMON, 2004). Nota-se que em geral esses usos são principalmente nos serviços de transformações e não no uso final.

econômico. Por não haver consenso sobre o termo quanto à sua definição, objetivos e abordagens, não será utilizado tal conceito neste trabalho.

Madlener (2009) descreve os principais pontos relacionados à economia da energia envolvendo os países em desenvolvimento. O autor aponta que a energia influencia tanto o desenvolvimento social, como a produtividade, ambos responsáveis pelo desenvolvimento econômico, o que reforça a importância do debate econômico da energia, principalmente envolvendo os países ainda em fase de desenvolvimento. Devido à falta de fontes energéticas suficientes, confiáveis e sustentáveis, o desenvolvimento desses países está ameaçado. O *Office of Technology Assessment* do Congresso dos Estados Unidos – OTA (1991, 1992) – também apresenta documentos que discorrem sobre a questão energética nos países em desenvolvimento.

Para os países desenvolvidos, por sua vez, alguns blocos temáticos principais no debate da economia da energia são: i) transferência tecnológica e aspectos de difusão; ii) intensidade energética e causalidade PIB-energia; iii) transição e reformas no mercado de energia; iv) impactos energéticos e ambientais devido a mudanças estruturais; v) evolução do preço do petróleo; vi) planejamento energético, aspectos do desenvolvimento social e econômico; vii) investimentos e aspectos financeiros; viii) problemas de modelagem energética relativos aos países em desenvolvimento (MADLENER, 2009).

Desses pontos, o autor destaca alguns como: i) mudança climática é importante, pois o mundo não para de demandar combustíveis fósseis, sendo que o autor apresenta dados da OCDE evidenciando que a participação nas emissões dos países desenvolvidos tem caído (66% em 1973 *versus* 48% em 2005); ii) capacidades tecnológicas dependem de experiência e aprendizado, o que envolve cooperação entre os países; iii) mudanças estruturais na economia dos países em desenvolvimento irão provavelmente ter um papel importante no próximo século como força motriz das emissões de CO₂; iv) a maior atuação dos países em desenvolvimento impactará também os preços do petróleo; v) o urbanismo será afetado pelo padrão do consumo energético; vi) há pouca literatura no que concerne à discussão referente a investimentos e finanças.

2.2 Consumo e Energia

O estudo microeconômico tem, em geral, duas óticas: uma de oferta e outra de demanda. A ótica de oferta analisa primordialmente questões inerentes ao processo produtivo, como plantas, custos, entre outros. A ótica da demanda, por sua vez, foca o consumidor,

analisando suas preferências, renda, entre outros. Porém, o processo produtivo também pode ser visto de alguma forma pela ótica da demanda, uma vez que as firmas demandam insumos de outras firmas para sua produção. Bhattacharyya (2011) afirma que a demanda ou consumo de energia⁹ segue a mesma fundamentação microeconômica das demais *commodities* de uma economia.

O autor afirma que a demanda por energia pode corresponder ao montante de energia requerida num país (demanda primária de energia) ou ao montante entregue aos consumidores (demanda de energia final¹⁰), não sendo necessariamente iguais os montantes. A necessidade de energia é específica a um local, à tecnologia disponível e aos usuários, tal que a energia não é consumida por si só, e sim para um propósito posterior como, por exemplo, mobilidade, produção e conforto.

Para o autor esta pode surgir por diferentes razões, como, por exemplo: famílias consomem energia para satisfazer algumas necessidades, e para tanto devem alocar parte de sua renda entre diferentes bens e necessidades a fim de maximizar sua utilidade dado o total gasto; firmas e usuários comerciais demandam energia como um insumo na produção, sendo que o objetivo destes usuários é minimizar o custo de produção.

Mankiw (2005) e Bathacharyya (2011) destacam que os determinantes da demanda são: preço (p_e), preço dos bens relacionados (substitutos e complementares) (p_r), renda (w), preço dos demais bens da economia (p_o), e os gostos ou preferências dos indivíduos (g). Assim é possível escrever a demanda por um bem, no caso energia, como função de:

$$x_e = f(p_e, p_r, p_o, w, g) \quad (1)$$

onde x_e é a quantidade demandada de energia.

Para tratar da demanda das firmas, é necessário voltar para o que determina sua produção, isto é, sua função de produção. Mankiw (2005) e Varian (2003) destacam que os fatores que influenciam a oferta das firmas são: o preço de mercado (p), o preço dos insumos (p_i) e a tecnologia (t) disponível.

$$x_e = ft(p, p_i) \quad (2)$$

⁹ Há uma pequena diferença entre os termos, tal que a demanda utiliza um conceito *ex ante*, isto é, está se considerando não só o consumo efetivo mas também o processo de escolha. O consumo por sua vez utiliza um conceito *ex post*, visto que considera-se aquilo que foi consumido e é possível de medir (Bhattacharyya, 2011). Apesar da diferença sutil, ambos serão considerados sinônimos neste trabalho.

¹⁰ Definição utilizada neste trabalho.

Desta forma é possível afirmar que as famílias enfrentam o Problema de Maximização da Utilidade (PMU) e as firmas, o Problema de Minimização dos Custos (PMC). As Figuras 1 e 2 ilustram esses problemas econômicos¹¹. Na Figura 1, são apresentadas questões relativas à demanda, sendo que x_e representa a quantidade de energia, x_o a quantidade de outros bens na economia e D a demanda total.

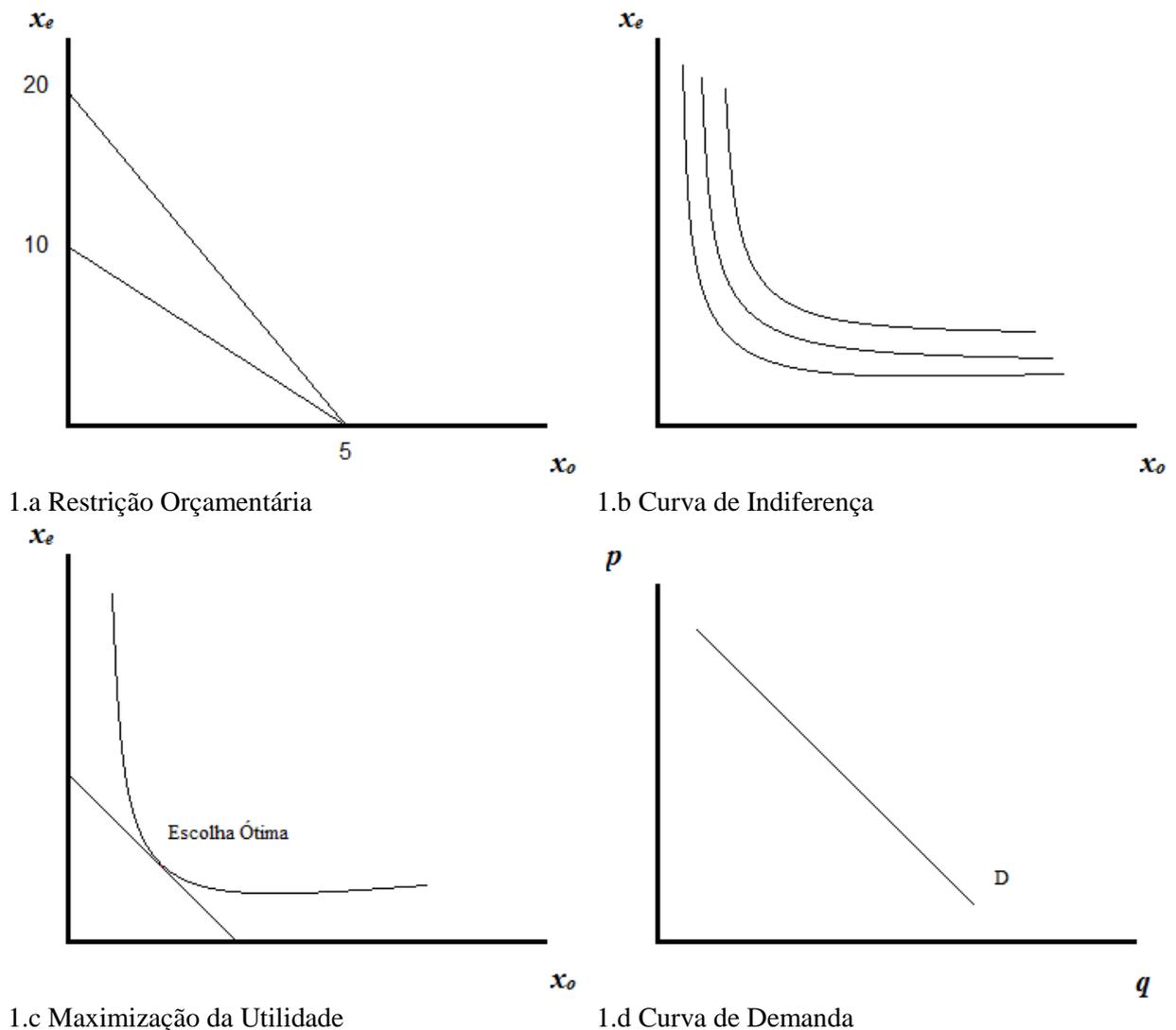


Figura 1 – Demanda

Fonte: Elaboração Própria.

A Figura 1 está dividida em quatro partes. A parte 1.a apresenta a curva de restrição orçamentária, isto é, a curva que delimita o montante máximo da combinação entre os bens x_e e x_o que podem ser consumidas. A parte 1.b apresenta as curvas de indiferença, ou seja, dadas

¹¹ Para mais detalhes ver MasCollé, Whiston e Green (1995), Varian (2003) e Bathacharyya (2011).

as preferências do consumidor, são curvas que representam em cada ponto cestas de bens nas quais não há relação de preferência por parte do consumidor, isto é, ele é indiferente em consumir qualquer uma destas cestas. Quanto maior a curva de indiferença, isto é, quanto mais à direita, maior é a satisfação do usuário.

A terceira parte da Figura 1, 1.c, mostra a maximização da utilidade, isto é, a alocação ótima dos recursos ocorre no ponto de tangência da curva de restrição orçamentária com uma das curvas de indiferença. Por fim, a parte 1.d apresenta a curva de demanda das famílias, que relaciona a quantidade demandada com o preço.

A partir da equação 1, então, é possível perceber que, ao analisar a demanda por energia, se o preço da energia variar, o que ocorre é um deslocamento sobre a curva de demanda. Caso haja uma variação positiva na renda das famílias (efeito nível¹²), haverá o deslocamento da curva de demanda para a direita. O mesmo ocorre se há uma mudança nas preferências (efeito *mix*¹³) das famílias por energia (se o gosto aumenta¹⁴). Caso os preços de bens relacionados mudem, a curva de demanda também se deslocará para a esquerda ou direita, dependendo de quais modificaram e de como se modificaram. Caso haja mudança nos demais preços da economia a curva de demanda também se desloca, pois haverá realocação de recursos (restrição orçamentária).

A Figura 2 apresenta as questões relativas à oferta e assim como a Figura 1 está dividida em quatro partes. Nesta figura, y representa o total produzido, x_e a quantidade de energia, x_o a quantidade de outros bens na economia. Neste caso, os bens podem ser entendidos como insumos.

A parte 2.a é a representação gráfica da função de produção dada uma tecnologia qualquer, considerando apenas um insumo, neste caso energia. A parte 2.b apresenta as isoquantas, que por sua vez têm características semelhantes às curvas de indiferença, porém representam as diferentes quantidades produzidas dada a combinação dos insumos e uma certa tecnologia.

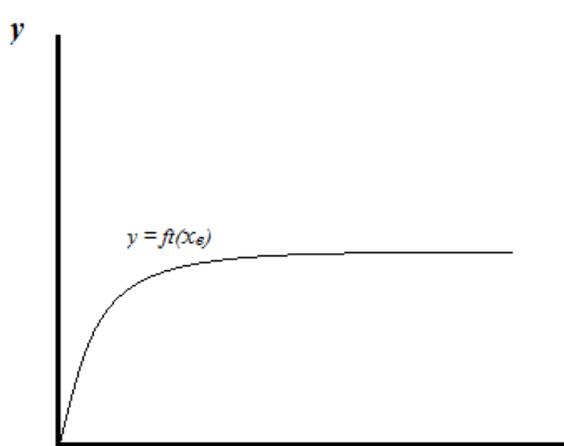
A terceira parte, 2.c, apresenta as isocustos, isto é, as curvas em que apresentam o mesmo custo dependendo da combinação do uso dos fatores, sendo que a firma busca sempre atuar na curva mais à esquerda – aquela com menor custo total. A parte 2.d apresenta a minimização do custo, que ocorre na tangência da isoquanta com a isocusto. A parte mais

¹² O efeito nível será melhor discutido no capítulo 3.

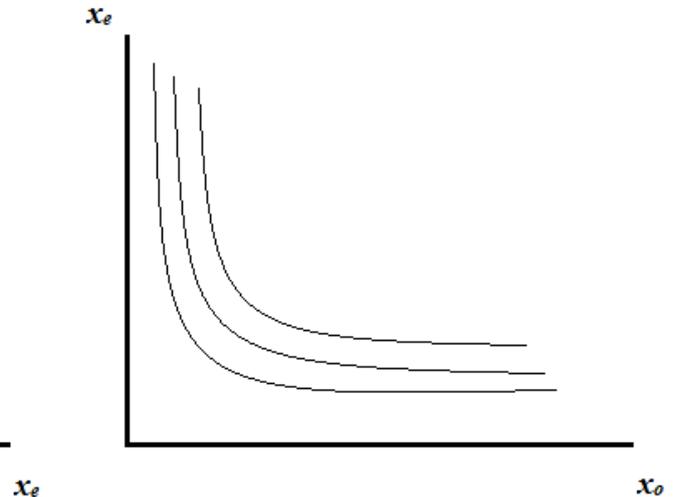
¹³ O efeito *mix* será melhor discutido no capítulo 3.

¹⁴ Neste caso, o gosto não seria por energia *per se*, mas por bens que utilizam energia.

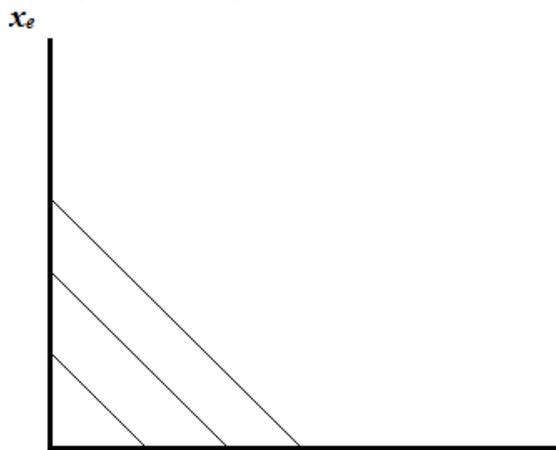
importante referente à oferta neste trabalho são as isocustos e as isoquantas, que mostram a relação entre os bens demandados na produção.



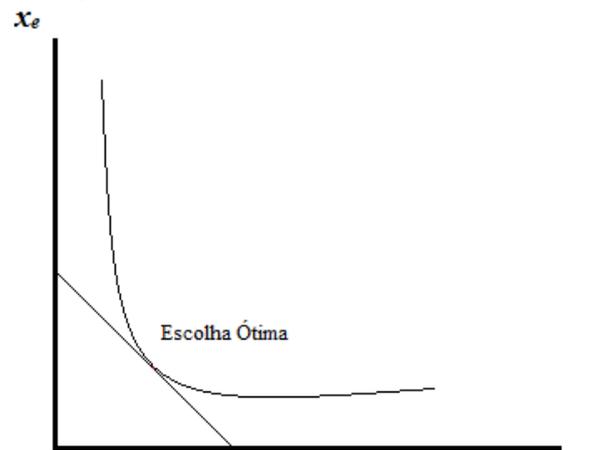
2.a Função de Produção



2.b Isoquantas



2.c Isocustos



2.d Minimização dos Custos

Figura 2 – Oferta

Fonte: Elaboração Própria.

Alguns elementos ou fundamentos microeconômicos de análise devem ser destacados: as elasticidades preço, renda e preço-cruzado de demanda. A elasticidade de demanda mede a variação percentual na demanda dada uma variação percentual no preço, na renda ou no preço de um bem relacionado.

Assim algumas hipóteses são possíveis para o caso da demanda por energia: i) as famílias são mais renda elástica do que preço elástica, isto é, a renda é mais importante que o preço na determinação do consumo de energia; ii) a demanda por energia das famílias é menos elástica que a demanda das firmas, visto que as famílias dependem principalmente dos serviços energéticos, enquanto as firmas podem não só gerar sua própria energia como

também fazer modificações no processo produtivo; iii) existem setores que são mais demandados pelos demais setores da economia e isto faz com que sua produção, no geral, seja maior. Isto se dá porque estes setores devem atender não só as famílias e demais elementos da demanda final como também atender ao consumo intermediário, isto é, deve atender às necessidades das outras firmas/setores para produção de seus próprios produtos. Assim, caso haja mudança na receita de produção das firmas, ou seja, na sua função de produção, essas mudanças podem ter impactos significativos no total de energia consumido.

2.3. Energia, Desenvolvimento Econômico e Progresso Tecnológico

O desenvolvimento econômico está interligado à discussão energética, principalmente em relação à disponibilidade, extração, distribuição e uso. Há quatro forças (gravidade, eletromagnetismo, força nuclear fraca e forte) que geram seis formas de energia (mecânica, química, térmica, radiante, nuclear e elétrica) que podem ser modificadas umas nas outras (DAHL, 2004; FOUQUET, 2009).

Segundo os autores a energia solar é essencial para a vida na Terra, e foi a primeira forma de energia utilizada pelo homem, sendo esse uso para fins de aquecimento. Ambos fazem um resumo histórico do desenvolvimento das sociedades e seu uso energético, e evidenciam como a cada nova forma de energia “descoberta”, ou quanto mais energointensiva era uma sociedade, mais desenvolvida ela era e, por conseguinte, maior domínio esta exercia. Alguns exemplos são os da China, Egito e Assíria, em 5000 AC, que já possuíam “indústria petroquímica¹⁵”, ou os ingleses no fim do século XVIII com a máquina a vapor (DAHL, 2004).

À medida que novas tecnologias são desenvolvidas e estão à disposição, a transição entre os estágios econômicos¹⁶ aumenta de velocidade. Porém é necessário infraestrutura, ou seja, bens de capital, para que haja disponibilidade de acesso às novas fontes energéticas (FOUQUET, 2009; TOMAN e JEMELKOVA, 2003).

Nos últimos três séculos, as economias industrializadas mudaram de uma quase dependência total de combustíveis baseados em biomassa (madeira e outros), para o carvão e depois para petróleo e gás natural, mas essas mudanças só ocorreram em face da acessibilidade às fontes e meios de uso (PEET, 2004). A Figura 3 ilustra essa mudança

¹⁵ A indústria petroquímica mencionada pela autora se refere ao conhecimento de óleos e seu uso em lamparinas entre outros.

¹⁶ Estágios econômicos se referem de acordo com Toman e Jemelkova (2003) ao nível de renda dos países – baixo, médio ou alto, por exemplo.

descrita pelo autor. Até 1850 nota-se que quase toda energia consumida era proveniente da madeira. A partir de aproximadamente 1910, a maior parte do consumo de energia tinha como fonte o carvão. Já próximo a 1970, nota-se a maior participação do petróleo e do gás como fornecedores de energia.

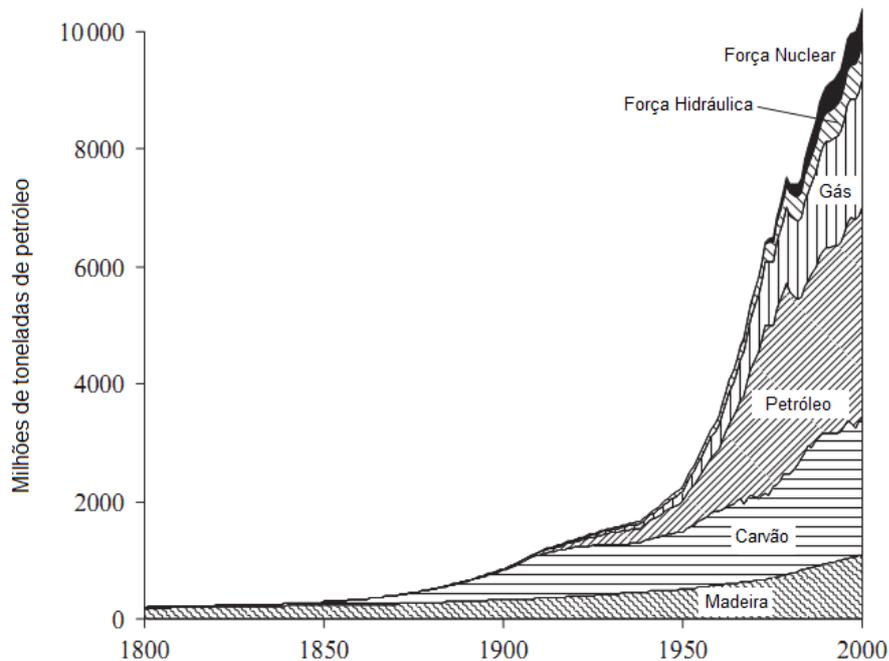


Figura 3 - Energia primária total consumida entre 1800 e 2000

Fonte: Fouquet (2009)

Toman e Jemelkova (2003), baseados em Banes e Floor (1996), afirmam existir uma “escada energética”, ou seja, a ligação entre energia e outros insumos com a atividade econômica muda significativamente de acordo com o avanço técnico-econômico através dos diferentes estágios de desenvolvimento. A Figura 4 representa de forma simples essa escada energética comparada com os estágios de desenvolvimento econômico.

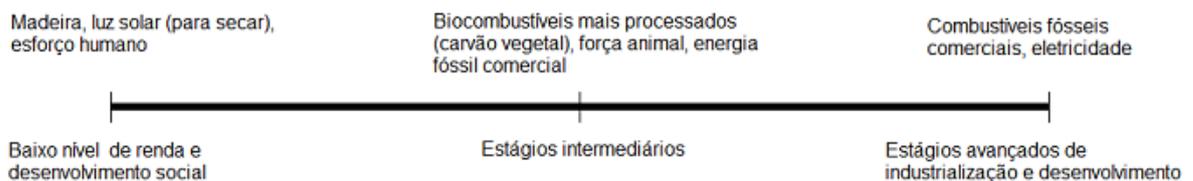


Figura 4 - Escada energética *versus* desenvolvimento econômico

Fonte: Elaboração própria a partir de Toman e Jemelkova (2003).

Como é possível perceber na Figura 4, há um caminho de transição entre os diferentes estágios de desenvolvimento, a que os autores se referem por níveis de renda, mas pode, como no caso deste trabalho, ser representado pela mudança na estrutura produtiva¹⁷. Este caminho revela a interseção entre o uso de insumos energéticos e os diferentes estágios de desenvolvimento, tal que quanto mais desenvolvido (riqueza e estrutura produtiva) for um país, será demandada em geral energia de maior qualidade¹⁸, visto que os processos produtivos seriam mais recentes e melhores que aqueles característicos de estágios menos avançados de desenvolvimento. Cohen (2005) afirma que a Curva de Kuznets Ambiental é um exemplo da relação do consumo de energia com os diferentes estágios de desenvolvimento.

Sobre o progresso técnico, relativo ao uso de energia, a autora afirma que, a melhoria dos processos produtivos permite os países em desenvolvimento trilhar um caminho menos intenso em energia que aquele percorrido pelos países desenvolvidos.

Ho e Siu (2007) afirmam que as mudanças estruturais numa economia afetam a relação Energia e PIB, dadas as diferentes naturezas do uso de energia pelos setores produtivos. Assim, com o enriquecimento de uma economia e sua transição para uma economia baseada em serviços, ou seja, um estágio mais elevado de renda e industrialização, maior é o nível de renda e poupança das famílias, que consumirão mais bens duráveis, logo aumentam o uso energético.

Berndt (1990), analisando o progresso técnico associado ao aumento de produtividade e como o uso energético está interligado a essa discussão, afirma que há dois tipos de progresso técnico: o incorporado e o não incorporado. O primeiro se refere à engenharia de *design* e ao avanço de desempenho que só pode ser incorporado em uma nova planta ou equipamento. O segundo se refere ao avanço no conhecimento que faz com que o uso dos insumos seja mais efetivo – *learning by doing*.

De acordo com Jorgenson (1984), o progresso técnico leva a melhores formas de energia, sendo a eletricidade o “maior” refinamento. O autor afirma ainda que a eletricidade foi importante para o avanço técnico setorial.

A principal característica da transformação no processo de manufatura, com o maior uso da eletricidade, foi o redesenho de todo o sistema de produção. Este redesenho permitiu

¹⁷ Existe na literatura um amplo debate sobre mudanças na estrutura econômica e estágios de desenvolvimento. Porém, por este tema ser muito amplo, e o foco do trabalho ser avaliar como as modificações na estrutura produtiva afetam o uso de insumos energéticos e não avaliar como estas modificações afetam os estágios de desenvolvimento, não será feita uma discussão mais ampla sobre o tema.

¹⁸ Uma possível escala de energia é: energia solar, carvão, petróleo e gás, eletricidade.

que fossem removidas restrições, principalmente físicas, antes existentes, como, por exemplo, no caso do taylorismo (SCHURR, 1984; BERNDT, 1990).

Schurr (1984), analisando o papel da eletricidade no progresso técnico, afirma que no início do século XX, condições favoráveis de oferta de energia, como a abundância de energia disponível, crescimento do uso de eletricidade e combustíveis líquidos, e o mercado concorrencial, baratearam seus preços e facilitaram sua difusão. Essas circunstâncias favoráveis encorajaram desenvolvimentos tecnológicos que em outras condições provavelmente não ocorreriam.

Berndt (1990) argumenta que há evidências empíricas de substituição de trabalho e energia por capital, mas firmas, famílias e sociedade não estão necessariamente melhor simplesmente porque a produtividade de um fator específico aumentou. Porém a produtividade multifator¹⁹ é sempre desejável. Na hipótese de Schurr (combinação do progresso técnico incorporado e não incorporado), a eletrificação contribui para aumentar a produtividade do trabalho e multifator, assim o efeito progresso técnico é maior que o efeito substituição entre os fatores.

Jorgenson (1984) por sua vez, segundo Berndt (1990), argumenta a favor da hipótese de progresso técnico enviesado (não incorporado), ou seja, a economia de energia decorrente deste avanço é menor que a média proporcional de todos os outros insumos; assim, um aumento no preço relativo resultaria em queda da produtividade multifator. É importante ressaltar, entretanto, que Jorgenson e Griliches (1967) *apud* Berndt (1990) afirmam que a medida simples de variação de uso no tempo deixa de considerar a mudança de qualidade que ocorre.

Para Toman e Jemelkova (2003), os retornos crescentes de escala (RCE) nos serviços de energia teriam formas diferentes nos distintos estágios de desenvolvimento econômico. Os mecanismos de transmissão também diferem de acordo com esses estágios. Uma conjectura dos autores é que: custos com flutuações de voltagem e interrupções são menores em países desenvolvidos e, assim, há uma perda monetária nos demais países que poderia estar sendo empregada em outras funções.

A teoria do crescimento endógeno enfatiza os “fatores de aumento²⁰” de produtividade da economia – P&D, educação e provisão de bens públicos. A energia poderia ser outro caso onde haveria efeitos multiplicadores na produtividade dos demais fatores. Se isso ocorre,

¹⁹ A produtividade multifator é aquela associada à produtividade conjunta de fatores, ou seja, pode ser entendida como a produtividade total dos fatores.

²⁰ São multiplicadores que indicam como o fluxo de insumos pode ser reforçado por outros fatores.

quando se aumenta a oferta de energia, há não somente mais energia para ser utilizada, como a produtividade com que cada unidade é utilizada também aumentaria (TOMAN e JEMELKOVA, 2003).

Darmstadter, Dunkerley e Alterman (1977) asseveram que a energia utilizada no processo produtivo é um dos componentes para o crescimento econômico. Os rendimentos deste crescimento econômico e a elevação de renda proporcionada permitem maior consumo de energia associada à criação de conforto e de outros serviços. Este fato seria o que Rosenberg (1998) associa à criação de bem-estar humano a partir da melhoria dos serviços elétricos.

No mesmo sentido, Toman e Jemelkova (2003), para o caso dos países em desenvolvimento, afirmam que o crescimento do uso energético, e seu maior acesso têm efeitos positivos na produtividade dos fatores, já que há uma melhora também do capital humano devido, por exemplo, a melhoras na educação, moradia, saúde, entre outros.

Ressalta-se, entretanto, que na literatura²¹ os estudos que envolvem crescimento econômico e energia têm foco mais empírico que teórico. Um dos principais debates concerne à determinação da direção de causalidade entre crescimento e consumo de energia e quais são suas implicações, pouco focando a evolução da estrutura produtiva e como esta influencia os países em diferentes estágios de desenvolvimento. Assim, os estudos se diferenciam em geral pelas amostras de países, período analisado e método de estimação.

Assim como na seção 2.2, é possível levantar algumas hipóteses relativas ao progresso técnico e grau de desenvolvimento econômico: i) dado que a industrialização dos países em desenvolvimento é tardia e primordialmente via investimentos estrangeiros, ou seja, importação de tecnologia, estariam estes países numa escala semelhante na escada energética e no tipo de consumo de energia realizado; ii) mudanças nas estruturas produtivas podem ser mais importantes que as famílias para explicar o consumo de energia nos países desenvolvidos, especialmente pelo fato de terem maiores taxas de investimentos e por haver poucas mudanças nas classes familiares;

²¹ Glasure e Lee (1997), Sori e Soytaş (2003), Oh e Lee (2004a, 2004b), Schmidt e Lima (2004), Mattos e Lima (2005), Lee (2005), Al-Ariani (2006), Francis, Moseley e Iyare (2007), Narayan e Smyth (2007), Huan, Hwang e Yang (2008), Chontanawat, Hunt e Pierse (2008), Wolde-Rufael (2009), entre outros.

3. MODELO DE INSUMO-PRODUTO²²

O presente capítulo divide-se em três partes: i) a primeira apresenta o modelo básico de insumo-produto, que é a base da análise a ser realizada; ii) a segunda seção descreve a metodologia do modelo de insumo-produto híbrido e as análises de decomposição estrutural – foco do trabalho; iii) por fim, a terceira seção apresenta os dados utilizados, a compatibilização necessária, e uma breve análise exploratória.

3.1. Modelo Básico

O modelo de Insumo-Produto descreve os fluxos intersetoriais de uma economia, seja essa nacional, regional ou mundial. Os dados necessários para sua construção são os fluxos de produto de cada setor (produtor), para cada um dos setores, ele próprio e os demais (consumidores). Assim, pode-se dizer que o propósito fundamental da estrutura de insumo-produto é analisar a interdependência industrial de uma economia (MILLER e BLAIR, 2009).

O modelo de Insumo-Produto é uma tentativa de aplicar o modelo neoclássico de equilíbrio geral. Miller e Blair (2009) mostram como a estrutura proposta por Leontief (1936) preserva as identidades macroeconômicas. A Figura 5 apresenta a estrutura para uma economia hipotética com apenas dois setores.

²² Baseado em Miller e Blair (2009) e Guilhoto (2009).

		Setores Compradores		Demanda Final				Produto Total
		Setor 1	Setor 2	Consumo Famílias	Governo	Investimento	Exportações	
Setores Produtores	Setor 1	z_{11}	z_{12}	c_1	g_1	i_1	e_1	x_1
	Setor 2	z_{21}	z_{22}	c_2	g_2	i_2	e_2	x_2
Importações		m_1	m_2	m_c	m_g	m_i	m_e	M
Impostos		t_1	t_2	t_c	t_g	t_i	t_e	T
Valor Adicionado		w_1	w_2					W
Produto Total		x_1	x_2	C	G	I	E	

Figura 5 - Representação de uma estrutura de insumo-produto²³
 Fonte: Baseado em Miller e Blair (2009) e Guilhoto (2009).

Onde,

z_{ij} é a quantidade de produto do setor i requerida para a produção do setor j ;

c_i é a quantidade de produto do setor i consumida pelas famílias;

g_i é a quantidade de produto do setor i consumida pelo governo;

i_i é a quantidade de produto do setor i destinada para investimentos ;

e_i é a quantidade de produto do setor i exportada;

m_i é a quantidade total importada pelo setor i ;

t_i é o total de imposto indireto líquido pago pelo setor i ;

w_i é a quantidade de valor adicionado gerado pelo setor i ;

x_i é o produto total do setor i .

A demanda final do setor i , f_i , é:

$$f_i = c_i + g_i + i_i + e_i \quad (3)$$

A partir da Figura 5 tem-se pela ótica das vendas:

²³ Na ideia inicial, matrizes insumo-produto deveriam ser contabilizadas em termos físicos, porém devido ao problema de padronização de unidades, foi adotada posteriormente a contabilização em termos monetários que captaria de forma consistente a questão de preços relativos, além de resolver o problema de padronização.

$$\begin{aligned}x_1 &= z_{11} + z_{12} + f_1 \\x_2 &= z_{21} + z_{22} + f_2\end{aligned}\tag{4}$$

A função de produção adotada pelo modelo de insumo-produto assume que a participação dos insumos no produto final é fixa; assim, é possível definir coeficientes técnicos de produção (a_{ij}) como proporções daquilo que é produzido, isto é:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}\tag{5}$$

Da equação (3) é possível obter que $z_{ij} = a_{ij}x_j$, assim é possível reescrever (4) como:

$$\begin{aligned}x_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + f_1 \\x_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + f_2\end{aligned}\tag{6}$$

Isolando a demanda final (f_i), ou seja, considerando-a exógena ao sistema, tem-se:

$$\begin{aligned}(1 - a_{11})x_1 - a_{12}x_2 &= f_1 \\-a_{21}x_1 + (1 - a_{22})x_2 &= f_2\end{aligned}\tag{7}$$

Representando (7) de forma matricial:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{f}\tag{8}$$

De tal forma que:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}; \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}; \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix}$$

Resolvendo a equação (8), ou seja, determinando o produto (x_j) necessário para atender à demanda final (f_j), tem-se:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} = \mathbf{L}\mathbf{f}\tag{9}$$

Onde $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{L} = [l_{ij}]$, é conhecida como *matriz inversa de Leontief* ou *matriz de requerimentos totais*.

3.2. Modelo Híbrido

O modelo de insumo-produto híbrido é baseado no modelo básico descrito na seção 3.1, sendo que há a substituição dos fluxos monetários de um ou mais setores por fluxos físicos²⁴. A justificativa em utilizar fluxos físicos em conjunto com fluxos monetários está baseada na diferenciação de preços entre setores, pois no caso de energia, por exemplo, os preços pagos pelos setores industriais diferem entre si, e também daquele pago pela demanda final das famílias (DIETZENBACHER e STAGE, 2006).

Considerando a mesma economia de dois setores descrita na seção 3.1, porém assumindo que o setor 2 seja o setor energético, é possível representar as unidades da matriz de fluxos híbridos²⁵ (\mathbf{Z}^*), do vetor de produto híbrido (\mathbf{x}^*) e do vetor de demanda final híbrido (\mathbf{f}^*) como:

$$\mathbf{Z}^* = \begin{bmatrix} \$ & \$ \\ TEP & TEP \end{bmatrix}; \mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} \$ \\ TEP \end{bmatrix}; \mathbf{f}^* = \begin{bmatrix} \$ \\ TEP \end{bmatrix}$$

A partir das matrizes \mathbf{Z}^* , \mathbf{x}^* e \mathbf{f}^* , seguindo a fórmula (5), é possível definir a matriz de coeficientes técnicos híbridos como:

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{Z}^* (\widehat{\mathbf{x}^*})^{-1} = \begin{bmatrix} \$/\$ & \$/TEP \\ TEP/\$ & TEP/TEP \end{bmatrix} \quad (10)$$

onde $\widehat{}$ (chapéu) representa a diagonalização da matriz.

A matriz inversa de Leontief híbrida (\mathbf{L}^*) é obtida como na fórmula (9), ou seja, $\mathbf{L}^* = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^*)^{-1} = [l_{ij}^*]$, tal que as unidades de l_{ij}^* são iguais às de a_{ij}^* .

²⁴ É importante ressaltar que para o cálculo das matrizes híbridas utilizadas na Análise de Decomposição Estrutural, as importações foram agregadas à matriz de fluxos intermediários \mathbf{Z} .

²⁵TEP = Toneladas de Petróleo Equivalente

3.2.1 Análise de Decomposição Estrutural

A Análise de Decomposição Estrutural (ADE) tem por objetivo decompor as mudanças do produto em componentes explicativos, quais sejam: i) mudanças devidas à estrutura produtiva e ii) mudanças devidas à demanda final. Sejam, então, duas matrizes para uma mesma região e dois períodos, t , diferentes ($t=0,1$)

$$\mathbf{x}^{*0} = \mathbf{L}^{*0}\mathbf{f}^{*0}; \mathbf{x}^{*1} = \mathbf{L}^{*1}\mathbf{f}^{*1}$$

A variação do produto é dada por:

$$\Delta\mathbf{x}^* = \mathbf{x}^{*1} - \mathbf{x}^{*0} = \mathbf{L}^{*1}\mathbf{f}^{*1} - \mathbf{L}^{*0}\mathbf{f}^{*0} \quad (11)$$

Como é possível escrever $\Delta\mathbf{L}^* = \mathbf{L}^{*1} - \mathbf{L}^{*0}$ e $\Delta\mathbf{f}^* = \mathbf{f}^{*1} - \mathbf{f}^{*0}$, fazendo algumas manipulações algébricas tem-se que:

$$\Delta\mathbf{x}^* = \mathbf{L}^{*1}(\mathbf{f}^{*0} + \Delta\mathbf{f}^*) - (\mathbf{L}^{*1} - \Delta\mathbf{L}^*)\mathbf{f}^{*0} = (\Delta\mathbf{L}^*)\mathbf{f}^{*0} + \mathbf{L}^{*1}(\Delta\mathbf{f}^*) \quad (12)$$

Da mesma forma é possível reescrever (12) ponderando as variações tecnológicas ($\Delta\mathbf{L}^*$) por \mathbf{f}^{*1} e ($\Delta\mathbf{f}^*$) por \mathbf{L}^{*0} , assim somando as duas equações ponderadas pelos dois anos é possível encontrar a decomposição estrutural do produto como a equação (13), onde o primeiro termo capta as variações tecnológicas e o segundo termo, as variações da demanda final:

$$\Delta\mathbf{x}^* = \frac{\Delta\mathbf{L}^*(\mathbf{f}^{*0} + \mathbf{f}^{*1})}{2} + \frac{(\mathbf{L}^{*0} + \mathbf{L}^{*1})\Delta\mathbf{f}^*}{2} \quad (13)$$

Entretanto a decomposição não necessita parar nesses dois termos, sendo possível ainda investigar quais os setores que mais contribuem para a variação tecnológica, ou seja, desagregar $\Delta\mathbf{L}^*$, assim como é possível também desagregar $\Delta\mathbf{f}^*$ em três efeitos, a saber: efeito de nível – que capta o efeito da quantidade total de todos os gastos pela demanda final; efeito de *mix* – que capta o efeito na mudança da cesta de consumo de cada categoria da demanda final; e efeito de distribuição – que capta a distribuição do gasto total entre as categorias da demanda final.

Os efeitos *mix* e nível estão descritos de maneira geral na seção 2.2 que apresenta a questão de demanda e energia. O efeito nível representa o efeito de um aumento da demanda por um determinado bem, isto é, ele capta o deslocamento da demanda para a direita, caso seja positivo, ou para a esquerda caso haja uma diminuição da quantidade consumida, assumindo que os preços são constantes. O efeito *mix*, por sua vez, representa a mudança na cesta de consumo das famílias, isto é, representa o deslocamento sobre a curva de indiferença, que desloca a curva de demanda para a esquerda ou para a direita²⁶.

Segundo Dietzenbacher e Stage (2006), a decomposição da demanda final com a utilização de matrizes híbridas pode enviesar os resultados devido à escolha das unidades na matriz de fluxos. Os autores propõem uma correção para o problema. Seguindo então a metodologia de Dietzenbacher e Stage (2006), a demanda final será decomposta em dois efeitos, nível e *mix*, como segue:

Seja então Δf^* , é possível decompor esse termo como:

$$\Delta f^* = (f^{*1} - f^{*0}) = (f^{*1} - \tilde{f}^*) + (\tilde{f}^* - f^{*0}) \quad (14)$$

onde:

$$\tilde{f}^* = f^{*1} \left(\frac{\sum_i f_i^{*0}}{\sum_i f_i^{*1}} \right) \quad (15)$$

Assim, o primeiro termo, $(f^{*1} - \tilde{f}^*)$, apresenta o efeito nível e o segundo termo, $(\tilde{f}^* - f^{*0})$, apresenta o efeito *mix*. A correção do problema de unidades pode se dar de duas formas, a primeira necessita de informações de preços, o que não é o caso deste trabalho²⁷, enquanto a segunda é aplicada como segue:

$$\Delta f^* = (f^{*1} - f^{*0}) = (f^{*1} - \check{f}^*) + (\check{f}^* - f^{*0}) \quad (16)$$

onde:

²⁶ Vide Figura 1.

²⁷ Como apresentado na seção 3.2, os preços na economia variam de acordo com setores, firmas, entre outros. Assim é difícil obter todos os preços de energia para uma única economia. Portanto, como se trabalha com diversas economias, optou-se por não utilizar informações de preços energéticos.

$$\dot{\mathbf{f}}^* = [r^k f_i^{k0}] \quad (17)$$

$$r^k = \frac{\sum_i f_i^{k0}}{\sum_i f_i^{k1}} \quad (18)$$

tal que, $k = \begin{cases} n & \text{se for setor não energético} \\ m & \text{se for setor energético} \end{cases}$

Deve-se destacar que a decomposição da demanda final considera esta como um único vetor, porém caso esta demanda seja composta por outros componentes, a desagregação ainda é válida.

Considerando agora a desagregação da variação da estrutura produtiva $\Delta \mathbf{L}^*$, Miller e Blair (2009) apresentam diferentes formas para tal; uma é acessar a variação em $\Delta \mathbf{L}^*$ propriamente dita, e outra é acessar a variação em $\Delta \mathbf{A}^*$, na qual é feita a desagregação em variações específicas a cada coluna, o que reflete a variação setor a setor. Os autores afirmam que cada coluna de \mathbf{A}^* reflete a “receita de produção” de cada setor, ou seja, sua tecnologia de produção utilizada. Esta segunda abordagem permite que seja analisada a variação da estrutura produtiva diretamente.

Ao captar a variação na estrutura produtiva, aborda-se o progresso tecnológico, discutido na seção 2.3, uma vez que se torna possível captar a mudança no processo de produção setorial – tecnologia utilizada na produção. Com isso é possível verificar, por exemplo, se está ocorrendo substituição entre as fontes, se os setores e países estão menos energointensivos e também quais setores individualmente mais contribuem para o aumento e/ou diminuição do uso de energia.

Para uma economia com n -setores então,

$$\mathbf{A}^{*1} = \mathbf{A}^{*0} + \Delta \mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} a_{11}^0 + \Delta a_{11} & \cdots & a_{1n}^0 + \Delta a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^0 + \Delta a_{n1} & \cdots & a_{nn}^0 + \Delta a_{nn} \end{bmatrix} \quad (19)$$

A mudança na tecnologia do setor j é:

$$\Delta \mathbf{A}^{*(j)} = \begin{vmatrix} 0 & \dots & \Delta a_{1j} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \Delta a_{nj} & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (20)$$

Então:

$$\Delta \mathbf{A}^* = \Delta \mathbf{A}^{*(1)} + \dots + \Delta \mathbf{A}^{*(j)} + \dots + \Delta \mathbf{A}^{*(n)} = \sum_{j=1}^n \Delta \mathbf{A}^{*(j)} \quad (21)$$

Logo, a decomposição de $\Delta \mathbf{L}^*$ leva a:

$$\Delta \mathbf{L}^* = [\mathbf{L}^{*1}(\Delta \mathbf{A}^{*1})\mathbf{L}^{*0}] + \dots + [\mathbf{L}^{*1}(\Delta \mathbf{A}^{*n})\mathbf{L}^{*0}] \quad (22)$$

Lin e Polenske (1995), por sua vez, acrescentam mais um passo para a desagregação de $\Delta \mathbf{A}^*$. A fim de captar a intensidade energética dos países considerando a sua estrutura produtiva, os autores particionam a matriz de coeficientes técnicos híbrida \mathbf{A}^* em duas, uma com os setores não energético (\mathbf{A}_N^*), e outra com os insumos energéticos (\mathbf{A}_E^*), de forma que $\mathbf{A}^* = \mathbf{A}_N^* + \mathbf{A}_E^*$ ²⁸. Assim, é possível agregar a equação (22) e reescrevê-la como:

$$\Delta \mathbf{L}^* = \mathbf{L}_1^*(\mathbf{A}_1^* - \mathbf{A}_0^*)\mathbf{L}_0^* = \mathbf{L}_1^*(\mathbf{A}_{N,1}^* - \mathbf{A}_{N,0}^*)\mathbf{L}_0^* + \mathbf{L}_1^*(\mathbf{A}_{E,1}^* - \mathbf{A}_{E,0}^*)\mathbf{L}_0^* \quad (23)$$

onde $\mathbf{L}_1^*(\mathbf{A}_{N,1}^* - \mathbf{A}_{N,0}^*)\mathbf{L}_0^*$ capta as variações tecnológicas atribuídas aos insumos não energéticos, isto é, ao efeito das substituições entre os insumos materiais; e $\mathbf{L}_1^*(\mathbf{A}_{E,1}^* - \mathbf{A}_{E,0}^*)\mathbf{L}_0^*$ capta as variações tecnológicas atribuídas aos insumos energéticos, ou seja, à substituição entre as fontes energéticas, de forma que é possível verificar se o país está se tornando mais ou menos intensivo em cada insumo energético.

Desagregando a equação (23) seguindo a equação (22) de forma a examinar setorialmente essas contribuições, tem-se matematicamente:

²⁸ Para visualização desta partição de matrizes seja a matriz $\mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} \$ & \$ \\ TEP & TEP \end{bmatrix} = \mathbf{A}_N^* + \mathbf{A}_E^* = \begin{bmatrix} \$ & \$ \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ TEP & TEP \end{bmatrix}$

$$\Delta L^* = \sum_j [L_1^*(A_{N,1}^{*j} - A_{N,0}^{*j})L_0^* + L_1^*(A_{E,1}^{*j} - A_{E,0}^{*j})L_0^*] \quad (24)$$

onde a parcela $\sum_j [L_1^*(A_{N,1}^{*j} - A_{N,0}^{*j})L_0^*]$ capta para cada insumo a variação do uso deste, devido a mudanças tecnológicas setoriais nos insumos não energéticos. A parcela $\sum_j [L_1^*(A_{E,1}^{*j} - A_{E,0}^{*j})L_0^*]$ capta a variação do uso de cada insumo, devido a mudanças tecnológicas setoriais nos insumos energéticos, isto é, capta quanto variou o uso de cada insumo devido a mudanças na forma de utilização de cada um dos insumos.

Por fim, utilizando (16) e (24) e reescrevendo (13) tem-se:

$$\begin{aligned} \Delta x^* &= \frac{\Delta L^*(f^{*0} + f^{*1})}{2} + \frac{(L^{*0} + L^{*1})\Delta f^*}{2} \\ &= \frac{\sum_j [L_1^*(A_{N,1}^{*j} - A_{N,0}^{*j})L_0^*](f^{*0} + f^{*1})}{2} \\ &\quad + \frac{\sum_j [L_1^*(A_{E,1}^{*j} - A_{E,0}^{*j})L_0^*](f^{*0} + f^{*1})}{2} \\ &\quad + \frac{(L^{*0} + L^{*1})(f^{*1} - \dot{f}^*)}{2} + \frac{(L^{*0} + L^{*1})(\dot{f}^* - f^{*0})}{2} \end{aligned} \quad (25)$$

Por meio da fórmula (25), então, é possível perceber que a metodologia responderá às questões levantadas, sendo que ela está captando como a variação no consumo das famílias, tanto no que se refere à quantidade consumida e como é feito este consumo, e também como mudanças na estrutura produtiva, isto é, mudanças tecnológicas, etc., explicam o maior ou menor uso dos insumos energéticos pelos países que serão analisados. Ainda poderá ser detalhado quais setores que mais contribuem para o aumento e diminuição do uso de energia, considerando mudanças apenas na estrutura produtiva não energética e mudanças na estrutura de produção energética.

3.2.3 Vantagens e desvantagens da Análise de Decomposição Estrutural

Assim como todo modelo estatístico e matemático, a Análise de Decomposição Estrutural (ADE) tem suas vantagens e desvantagens para análise energética. Lin e Polenske (1995) citam quatro vantagens principais e três pontos fracos da ADE. Entre os pontos fortes

estão: i) o método integra dados energéticos com matrizes de insumo-produto fornecendo uma estrutura unificada para descrever a relação da energia com os outros fatores de produção e produtos finais; ii) a estrutura inclui todos os setores, cobrindo todo o ciclo de produção e consumo energético; iii) diferentemente do modelo tradicional de insumo-produto – estático – a ADE permite que haja substituição de insumos e variação tecnológica; e iv) como o modelo descreve a economia como um sistema de atividades interdependentes, é possível traçar as ligações intersetoriais e contabilizar o uso direto e indireto de energia.

Entre as fraquezas do modelo se destaca em primeiro lugar a suposição de que a função de produção é linear, isto é, retornos constantes de escala. Em segundo lugar, a matriz está aberta para poucossetores (14 setores neste trabalho por falta de dados), o que não permite capturar variações importantes, porém específicas a algumas indústrias ou processos produtivos. Por fim, a ADE é fundamentalmente um modelo macroeconômico *top-down*, e assim não fornece informações de como as tecnologias energéticas e as práticas de uso de energia mudam num nível micro.

Como destacados pelos autores, é importante combinar a análise de decomposição estrutural com outras análises, porém deve-se levar em consideração qual pergunta está sendo feita, e se o método é o mais adequado.

3.3 Base de Dados

As matrizes de insumo-produto disponibilizadas pela OCDE possuem 48 setores (Anexo I) e são disponíveis para os anos de 1995, 2000 e 2005. Apesar de haver a disponibilidade de matrizes para diversos países, optou-se por analisar seis, sendo três com economias desenvolvidas – Alemanha (ALE), Estados Unidos (EUA) e Reino Unido (RU) – e três países emergentes – Brasil (BRA), China (CHN) e Índia (IND). Cabe ressaltar que no caso da Índia as matrizes usadas são para os anos de 1993/1994, 1998/1999 e 2003/2004²⁹.

A justificativa da escolha dos países está associada à consolidação das estruturas produtivas. Brasil, China e Índia são países que estão consolidando as suas estruturas produtivas, principalmente quando considerado o período estudado. Neste bloco de países emergentes ocorreram diversas modificações estruturais que impactam de forma significativa a economia como um todo nos anos de 1990 e início dos anos 2000.

²⁹ Essas matrizes serão reportadas no decorrer do trabalho apenas pelo último ano, ou seja, 1994, 1999 e 2004.

O Brasil, na primeira metade da década, passou por modificações institucionais ao sair de uma ditadura que durou cerca de 20 anos, e ao implementar o Plano Real que foi fundamental para sua estabilização, e permitiu que o país alcançasse uma nova fase de crescimento. A China, tem no início dos anos de 1990 o rompimento com a União Soviética, principal parceiro comercial e exportador de tecnologia e estrutura produtiva para o país. Com o fim da URSS, a China também passou por modificações institucionais e uma abertura econômica que possibilitou o país a receber indústrias do mundo todo (principalmente EUA). A Índia por sua vez sofreu na primeira metade da década de 1990 importantes mudanças na sua estrutura, o que permitiu o rápido crescimento do país nos anos subsequentes.

O bloco dos países desenvolvidos tiveram na década de 1990 uma retomada do crescimento econômico vinculado a um amadurecimento da economia, que culminou no fortalecimento dos setores terciários, principalmente aqueles desmembrados do setor secundário, como, por exemplo, o setor de serviços prestados às empresas e o setor de Pesquisa e Desenvolvimento. Além desses, setores ligados à área de informática e setores integrantes da estrutura financeira e bancária passaram a ser importantes, principalmente com o crescimento do setor imobiliário.

Cohen (2005) destaca que esses processos que se fortaleceram na década de 1990 – países desenvolvidos reforçando os setores terciários em detrimento dos secundários e os países em desenvolvimentos se tornando cada vez mais os principais produtores de bens intermediários energointensivos – têm seu início na década de 1970.

É importante ressaltar que entre 2000 e 2001 o Brasil vivenciou uma crise energética³⁰. Esta crise foi essencialmente de oferta, decorrente da falta de investimentos em geração de energia e da estiagem ocorrida no país, que resultou na diminuição do nível de água nos reservatórios hidrelétricos. Como as usinas hidrelétricas são responsáveis pela maior parte da produção de energia no país (mais de 70%), a pouca quantidade de água nos reservatórios fez com que a produção de energia diminuísse e assim, houve interrupções na transmissão de energia elétrica em todo o país. Durante a crise o governo nacional decretou um racionamento de energia de 20%, afetando as famílias que tiveram que reduzir seu consumo e a indústria.

Para construir a matriz de fluxos híbrida foram utilizados os dados do balanço energético para países membros e não membros da OCDE, que por sua vez apresenta abertura setorial de 18 setores (Anexo II). Assim, foi necessário realizar uma compatibilização entre os

³⁰ Para mais detalhes sobre a crise ver Tomalsquim (2000) e Filho *et al* (2001).

setores presentes no balanço energético e na matriz de insumo-produto. Ao se realizar tal compatibilização, as matrizes de insumo-produto passaram a ter 14 setores (tabela 1³¹).

As matrizes insumo-produto são disponibilizadas a preços correntes e com a moeda local. Para se realizar a análise de decomposição estrutural é necessário que seja feita a utilização de matrizes a preços constantes, a fim de que seja retirado o efeito inflação da análise. Para deflacionar as matrizes foram utilizados deflatores implícitos do valor adicionado, obtidos na OCDE para Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido; o deflator implícito do PIB do Brasil foi obtido no Ipeadata e foram construídos os deflatores implícitos do PIB para Índia e China a partir de dados referentes ao PIB nominal e real obtidos nas respectivas agências estatísticas – MOSPI (*Ministry of Statistics and Programme Implementation*) e NBSC (*National Bureau of Statistics of China*).

Tabela 1 - Compatibilização dos setores do Balanço Energético e Matriz Insumo-Produto

Setores do Balanço Energético	Setores da Matriz Insumo-Produto	Número do Setor	Abreviação
Aço e Ferro	13	1	Aço
Químico e Petroquímico	9, 10, 11	2	Quim
Metais Não Ferrosos	14	3	Met. NF
Minerais Não metálicos	12	4	Min. NM
Mineração e Pelotização	3	5	Min/Pel
Alimentos e Tabaco	4	6	Alim
Papel, Celulose e Impressão	7	7	Papel
Têxteis e Couro	5	8	Text
Indústrias Não Específicas	6, 15 a 25, 29, 30	9	I.N.E.
Transporte	33 a 37	10	Trans.
Comercial e Serviços Públicos	31, 44	11	Com/SP
Agricultura, Silvicultura e Pescaria	1	12	Agric
Outros Não Específicos	32, 38 a 43, 45 a 48	13	O.N.E.
Setor Energético	2, 8, 26, 27, 28	14	Energ

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da OCDE (2011)

A Tabela 2 traz a agregação dos tipos de insumo presentes no Balanço Energético (BE) para os seis tipos que serão utilizados neste trabalho. Cabe ressaltar que o BE formaliza, ou contabiliza apenas o uso do insumo propriamente dito, ou seja, não contabiliza, portanto, o uso proveniente das transformações. Desta forma, como nenhum setor utiliza energia nuclear diretamente ela é zero em todos os países em todos os anos de análise, logo esta não será analisada ao longo do trabalho. Outro ponto que deve ser destacado é que dos componentes da

³¹ O balanço energético para os países membros e não membros da OCDE apresenta uma seção metodológica, que define os setores, de acordo com a classificação ISIC (*International Standard Industrial Classification*), que permite que seja compatibilizado o balanço energético com a matriz de insumo-produto. (Anexo III)

demanda final na matriz de insumo produto – gastos das famílias, gastos do governo, investimento e exportação – dadas as restrições do BE, será utilizada apenas a componente de famílias como única parcela a compor o vetor de demanda final.

Tabela 2 - Agregação do Balanço Energético por tipo de insumo

Insumos Agregados	Insumos do Balanço Energético
Carvão – C	Carvão
Petróleo e Gás – P&G	Petróleo Bruto, Produtos, GLP e Gás
Nuclear – N	Nuclear
Renováveis – R	Hidráulica, Geotérmico, Solar, Vento e Combustíveis Renováveis
Elétrica – E	Eletricidade
Outros – O	Turfa e Aquecimentos

Fonte: IEA (2007)

A Tabela 3 apresenta a participação percentual por agrupamento setorial no Valor Bruto da Produção (VBP) e no Valor Adicionado (VA) nos anos de análise em cada país. Como já mencionado na seção 2.3, esta tabela ajuda a explicitar as diferenças técnico-econômicas nos países analisados.

Para os países em desenvolvimento, o VBP e VA são maiores no setor secundário, seguido do setor terciário com importante participação do setor primário (10% ou mais), enquanto nos países desenvolvidos o setor terciário é o mais importante, seguido do setor secundário e com pouca participação do setor primário. Nota-se também que enquanto o setor energético cresce nos países em desenvolvimento ele se encontra estável ou declinante nos países desenvolvidos.

Esta primeira análise descritiva permite visualizar a evolução de estruturas produtivas. Os países emergentes – BRA, CHN e IND – já saíram de uma estrutura primária e têm maior contribuição da estrutura secundária na economia. Por sua vez, países desenvolvidos – ALE, RU e EUA – já possuem suas estruturas produtivas consolidadas, e passaram para uma fase em que a estrutura terciária passa a ter maior importância na economia. Fazendo um paralelo com a Figura 4, é possível dizer que os países desenvolvidos estão na extrema direita da reta, enquanto os países emergentes estão do meio para a direita da reta.

Tabela 3 - Valor Bruto da Produção e Valor Adicionado por grupos de setores (%)*

		Valor Bruto da Produção			Valor Adicionado		
		1995	2000	2005	1995	2000	2005
Brasil	Primário	8	7,6	6,1	8,8	7,9	6,5
	Secundário (S/ SE)	41,8	40,7	35,6	29,2	28,6	22
	Terciário	45,5	44,3	49,4	57,7	56,8	65
	Setor Energético	4,7	7,4	8,9	4,2	6,6	6,4
China	Primário	14,5	11,4	8,3	22,2	18	13,4
	Secundário (S/ SE)	58,2	57,8	56,3	42,5	41,9	38,9
	Terciário	21,6	22,6	27,1	29	31	39
	Setor Energético	5,6	8,2	8,3	6,3	9,2	8,7
Índia	Primário	14,3	13,8	13,9	20,2	20,8	22,4
	Secundário (S/ SE)	22,1	22,7	21,4	10,2	10,7	9,7
	Terciário	50,2	47,1	46,7	50,7	47,8	42,5
	Setor Energético	13,4	16,4	18	18,9	20,6	25,5
Alemanha	Primário	1,6	1,5	1,2	1,5	1,4	1
	Secundário (S/ SE)	40,6	39,9	38,3	29,4	28,1	26,5
	Terciário	54,6	55,7	56,6	66,7	68,5	70,2
	Setor Energético	3,2	2,9	3,8	2,4	2	2,4
Reino Unido	Primário	2,1	1,4	1,2	2	1,2	0,9
	Secundário (S/ SE)	34,2	29	26,1	26	22,7	19,6
	Terciário	58,2	64,5	67,9	67,4	71,6	75,9
	Setor Energético	5,5	5,1	4,8	4,6	4,5	3,7
Estados Unidos	Primário	2,2	1,8	2	1,7	1,4	1,7
	Secundário (S/ SE)	32,8	27,6	24,5	24,4	19,9	17,4
	Terciário	60,3	66,8	68,6	70,3	75,7	77,3
	Setor Energético	4,7	3,8	4,9	3,5	3	3,7
Total para cada país		100	100	100	100	100	100

* Para Índia leia-se: os anos 1994, 1999 e 2004.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da OECD (2011).

Nota: As abreviações seguem a Tabelas 2: Carvão (C), Petróleo e Gás (P&G), Renováveis (R), Eletricidade (E) e Outros (O).

A Tabela 4 apresenta para os países e cada grupamento setorial o consumo por tipo de energia. Com essa tabela é possível ter uma primeira impressão das matrizes energéticas de cada país e como cada grupamento setorial por país faz uso da energia disponível.

Os setores Primários, Secundário sem o Setor Energético, Terciário e o Setor Energético estão apresentados, respectivamente como, Prim., Sec. (S/SE), Terc. e SE. Os insumos energéticos foram abreviados de acordo com a tabela 2, sendo que em 'T' está representado o total consumido por grupamento setorial.

Tabela 4 - Consumo energético dos grupamentos setoriais por tipo de insumo (%)**

		1995						2000						2005					
		C	P&G	R	E	O	T	C	P&G	R	E	O	T	C	P&G	R	E	O	T
Brasil	Pri	0,0	3,8	1,7	0,7	0,0	6,2	0,0	3,5	1,2	0,8	0,0	5,5	0,0	3,1	1,4	0,9	0,0	5,4
	Sec	4,2	10,8	16,3	9,6	0,0	40,9	4,0	13,1	15,9	9,5	0,0	42,4	3,9	11,7	18,4	9,7	0,0	43,7
	Ter	0,0	31,1	6,1	4,3	0,0	41,5	0,0	32,4	4,8	5,0	0,0	42,1	0,0	30,1	4,6	4,8	0,0	39,5
	SE	0,6	4,0	6,3	0,6	0,0	11,4	0,4	4,4	4,4	0,7	0,0	10,0	0,4	5,1	5,2	0,7	0,0	11,4
	Tot	4,8	49,7	30,4	15,1	0,0	100	4,4	53,3	26,3	16,0	0,0	100	4,3	50,0	29,6	16,1	0,0	100
China	Pri	2,1	2,4	0,0	1,0	0,0	5,5	1,9	3,0	0,0	1,1	0,0	6,0	1,5	2,6	0,0	0,9	0,0	5,0
	Sec	47,8	5,7	0,0	8,9	3,1	65,5	35,2	6,7	0,0	11,0	3,6	56,5	34,4	7,1	0,0	14,3	3,6	59,4
	Ter	4,2	10,5	0,1	1,2	0,1	16,1	2,8	15,9	0,2	2,4	0,2	21,5	1,6	16,2	0,3	2,9	0,2	21,3
	SE	5,4	3,7	0,0	2,7	1,1	12,9	6,1	4,8	0,0	3,5	1,7	16,1	5,7	3,7	0,0	3,5	1,3	14,3
	Tot	59,5	22,3	0,1	13,8	4,3	100	45,9	30,3	0,2	18,0	5,6	100	43,2	29,7	0,3	21,6	5,1	100
Índia	Pri	0,0	1,6	0,0	4,8	0,0	6,4	0,0	2,8	0,0	4,8	0,0	7,6	0,0	3,3	0,0	4,3	0,0	7,6
	Sec	21,9	7,8	16,5	7,9	0,0	54,1	16,5	15,7	15,5	8,1	0,0	55,8	16,1	12,5	15,2	9,5	0,0	53,4
	Ter	6,0	21,6	3,5	2,0	0,0	33,0	3,8	18,5	3,3	2,4	0,0	27,9	3,7	18,7	3,4	3,1	0,0	28,9
	SE	1,2	3,5	0,0	1,7	0,0	6,4	0,8	5,9	0,0	2,0	0,0	8,7	0,7	7,1	0,0	2,3	0,0	10,1
	Tot	29,2	34,5	20,0	16,4	0,0	100	21,1	42,8	18,7	17,3	0,0	###	20,5	41,6	18,6	19,2	0,0	###
Alemanha	Pri	0,0	1,1	0,0	0,4	0,0	1,5	0,0	1,1	0,0	0,3	0,0	1,5	0,0	1,0	0,0	0,4	0,0	1,4
	Sec	5,6	23,1	0,1	9,7	0,7	39,2	4,8	24,1	0,2	10,6	0,5	40,2	3,8	12,5	0,0	10,8	4,2	31,3
	Ter	0,4	45,3	0,0	5,5	0,0	51,3	0,2	44,7	0,1	5,7	0,0	50,8	0,2	41,6	1,1	6,3	##	60,2
	SE	0,7	4,4	0,0	2,9	0,1	8,1	0,6	4,4	0,0	2,5	0,1	7,5	0,6	3,7	0,0	2,9	0,0	7,2
	Tot	6,7	73,9	0,1	18,5	0,7	100	5,6	74,3	0,3	19,2	0,6	100	4,6	58,8	1,1	20,3	##	100
Reino Unido	Pri	0,0	0,7	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0	0,5	0,1	0,3	0,0	0,9	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	0,8
	Sec	3,3	21,1	0,3	7,1	0,0	31,8	1,2	21,3	0,2	7,6	0,9	31,1	1,6	14,8	0,1	8,3	0,7	25,5
	Ter	0,3	48,3	0,1	6,5	0,0	55,2	0,1	48,5	0,1	6,6	1,1	56,4	0,0	53,2	0,2	7,4	0,3	61,1
	SE	0,9	9,5	0,0	1,7	0,0	12,0	0,8	8,9	0,0	1,9	0,0	11,6	0,6	9,9	0,0	2,0	0,0	12,6
	Tot	4,4	79,5	0,5	15,6	0,0	100	2,1	79,2	0,3	16,4	1,9	100	2,2	78,4	0,3	18,0	1,1	###
EUA	Pri	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,3
	Sec	2,0	17,5	1,1	7,3	0,4	28,3	2,1	18,8	2,6	7,1	0,6	31,2	2,2	11,3	2,5	6,2	0,2	22,3
	Ter	0,1	52,6	0,2	7,1	0,2	60,2	0,1	50,5	0,3	7,3	0,2	58,3	0,1	56,5	0,8	9,6	0,1	67,1
	SE	0,1	7,9	0,0	2,1	0,1	10,2	0,1	7,1	0,0	2,1	0,2	9,5	0,2	6,9	0,0	2,1	0,2	9,3
	Tot	2,2	79,3	1,3	16,6	0,7	100	2,3	77,5	2,9	16,4	0,9	100	2,5	75,9	3,3	17,8	0,4	100

** Para Índia leia-se: os anos 1994, 1999 e 2004. Para Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido leia-se: os anos 1997, 2000 e 2005.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IEA (2011)

Nota: As abreviações seguem as Tabelas 2 e 3: Primário (Pri), Secundário sem SE (Sec), Terciário (Ter), Setor Energético (SE), Total (Tot ou T); Carvão (C), Petróleo e Gás (P&G), Renováveis (R), Eletricidade (E) e Outros (O).

Analisando os países em desenvolvimento alguns padrões são notados. Em termos de insumo energético, nota-se que o consumo de Carvão está diminuindo em todos os países. O consumo de Petróleo e Gás e Eletricidade apresenta crescimento para China e Índia, porém se mostra estável no Brasil, enquanto o consumo de insumos renováveis se mantém estável com

pequeno crescimento no Brasil e Índia. Para os países desenvolvidos, em termos de insumos energéticos, o consumo de carvão cai no período e o Petróleo e Gás, e Eletricidade mostram pequenas alterações permanecendo em geral estável.

A análise agregada da tabela 4 corrobora a análise da tabela 3 *vis-à-vis* a análise da Figura 4, já que evidencia como os países desenvolvidos se mostram mais estáveis no consumo das diversas fontes analisadas (C, P&G, R, E e O), e como a utilização de insumos “superiores”³² é maior, enquanto, no caso dos países emergentes, ainda há um processo no qual o consumo desses insumos de melhor qualidade está aumentando à medida que insumos “inferiores”³³ como o Carvão estão diminuindo.

Em termos de grupamentos setoriais: para os países emergentes o que chama a atenção é que o consumo energético primário não é superior a 10% em todos os anos e em todos os países. Os principais consumidores são o grupamento secundário e terciário tal que, se para o Brasil há certa equiparação entre o consumo energético, na Índia e na China os setores que fazem parte do grupamento secundário consomem mais energia que os que compõem o terciário. Já para os países desenvolvidos os setores primários passam a consumir mais energia em 2005 e esse aumento é expressivo. O grupamento setorial secundário é o que mais consome energia em 2005, em todos os países; entretanto, nos anos de 2000 e 2005 o consumo do setor terciário é o maior.

3.2.1 Setores fornecedores na economia

Como descrito na seção 3.1, a qual apresenta a estrutura de insumo-produto, isto é, a estrutura produtiva de um país e/ou região, há uma interligação entre os setores produtivos, sendo que estes exercem um papel duplo na economia, como demandantes e fornecedores de insumos. Se o setor j aumenta a sua produção, as demandas do setor j por insumos vão aumentar; da mesma forma, com a maior produção de j , aumenta a disponibilidade de produtos deste setor que poderão ser utilizados como insumos pelos demais setores (MILLER e BLAIR, 2009).

Dentre as diversas ferramentas de análise das matrizes de insumo-produto, pode-se destacar a análise de setor-chave na economia, que são os setores mais importantes como fornecedores e demandantes de insumos na economia, ou seja, são aqueles mais dinâmicos e

³² Insumos superiores se referem àqueles insumos energéticos mais refinados como Nuclear, Eletricidade, Renováveis, por exemplo.

³³ Insumos inferiores se referem a insumos energéticos mais rústicos como Carvão, por exemplo.

que exercem maior influência na economia como um todo. Existem duas técnicas já consolidadas para análise de setor-chave: Índices de Hirschman-Rasmussen³⁴ e Índices Puros de Ligação³⁵

Assim, seguindo os trabalhos de Hirschman (1958) *apud* Miller e Blair (2009) e Rasmussen (1957) *apud* Miller e Blair (2009), é possível detectar quais os setores que possuem maior encadeamento na economia, ou seja, é possível definir índices de ligação para trás, que fornecem a dependência do setor j dos demais setores da economia, e índices de ligação para frente, que fornece a dependência dos demais setores da economia do setor j . Os índices puros de ligações se diferenciam do Índice Hirschman-Rasmussen por considerar o tamanho do setor na economia.

A Tabela 5 apresenta os índices de ligação de Hirschman-Rasmussen para frente (HR) e índices puros de ligação para frente (IP), calculados para as matrizes de insumo-produto monetárias abertas para os 48³⁶ setores presentes nas matrizes obtidas da OCDE. Optou-se por simplificar a apresentação, marcando com “x” aqueles setores que tiveram valores acima da unidade (que são considerados os principais setores demandados da economia) para cada índice tanto em 1995 como em 2005, e com “y” aqueles que não eram fornecedores-chave em 1995 mas passaram a sê-lo em 2005. Marcou-se de cor diferente aqueles setores que tiveram o “x” (vermelho) e “y” (azul) tanto no HR como no IP, sendo esses setores considerados, neste trabalho, como os principais setores fornecedores, ou seja, aqueles que tiveram maiores pressões de demanda. Esta análise permitirá verificar posteriormente se estes setores foram aqueles que contribuíram com um aumento do uso de energia nos respectivos países.

Como é possível observar, alguns dos 48 setores da matriz de insumo-produto original se destacam como fornecedores ou demandados em ambos os períodos (primeiro número entre parêntesis), ou se tornando ao longo do tempo um desses setores mais demandados (segundo número entre parêntesis). Assim o número desses setores em cada país, para ambos os índices (HR e IP) é: Brasil (10 e 4), China (15 e 2), Índia (9 e 0), Alemanha (12 e 1), Reino Unido (12 e 1) e Estados Unidos (11 e 3). Desses setores oito se repetem em pelo menos cinco dos países analisados, sendo estes os setores: 7, 13, 15, 26, 33, 37, 38 e 43³⁷. Destacam-se ainda os setores 8, 12 e 31 que se mostram importantes apenas nos países em desenvolvimento.

³⁴ Para mais detalhes ver Miller e Blair (2009).

³⁵ Para mais detalhes ver Guilhoto (2009).

³⁶ Cabe destacar que a análise é realizada pra 48 setores, pois a agregação da matriz em poucos setores (14) pode levar a um viés nesses indicadores.

³⁷ Ver anexo I para mais detalhes acerca dos setores.

Considerando os setores agregados, os mesmos são recorrentes em todos os países, sendo esses os setores: Aço e Ferro (1), Químico e Petroquímico (2), Minerais Não Metálicos (4), Papel, Celulose e Impressão (7), Indústrias Não Específicas (9), Transportes (10), Comércio e Serviços Públicos (11), Agricultura (12), Outros Não Específicos (13) e Setor Energético (14).

Cabe ressaltar que nem todos os setores que compõem um dos 14 setores agregados foram evidenciados como fornecedores relevantes, variando o número e a importância desses setores desagregados entre os países. Entretanto, os setores agregados que são compostos por um único setor (1, 4 e 7, por exemplo) também se mostraram significativos, e, com exceção dos setores 9 e 13, que são compostos por muitos setores (acima de 10 cada), nos demais casos em geral, a maioria dos setores que compõe os setores agregados destacados se mostraram setores fornecedores na economia.

Tabela 5 – Índice de Hirschman-Rasmusen e Índice Puro de Ligação

Setores I-O	BRA		CHN		IND		ALE		RU		EUA		Setores Agregados
	HR	IP	HR	IP	HR	IP	HR	IP	HR	IP	HR	IP	
1	X	X	X	X		X	X		X		X	X	12
2	X	Y		X	X	X	X		X	X	X	X	14
3	X		X		X		X		X		X		5
4		X		X									6
5			X										8
6	X		X		X		X		X		X		9
7	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	7
8	X	X	X	X	X	X	X				X		14
9	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	2
10													2
11	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		2
12	X	X	X	X	X	X	X		X		X		4
13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		1
14	X				X								3
15	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	9
16			X	X									9
17													9
18	X			Y			X	X			X	X	9
19													9
20													9
21			X										9
22			X		Y								9
23													9
24					X								9
25			X	X									9
26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	14
27			X										14
28													14
29			Y				X						9
30						X		X	Y	X		X	9
31	Y	X	X	X	X	X		X		X		X	11
32			Y	Y									13
33	Y	X	X	X	X	X	Y	Y	X	X	X	X	10
34					X								10
35							Y						10
36					X		X	X	X	X	X		10
37	X	Y	X	Y	X		X	X	X	X	X	X	10
38	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Y	X	13
39								X		X		X	13
40	X				Y		X	X	X		X		13
41							X		X	X	X	X	13
42									X		X	Y	13
43	X	X	X	X	Y		X	X	X	X	X	X	13
44													11
45													13
46													13
47							X	X		X	Y	Y	13
48													13

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da OECD (2011).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a discussão dos resultados da Análise de Decomposição Estrutural (ADE) baseado em Miller e Blair (2009) e em Lin e Polenske (1995). A Figura 6, baseada na equação (25), evidencia o que é possível verificar com a ADE. Ressalta-se que a soma de cada divisão é igual ao total de cada parcela; por exemplo, a soma do efeito nível e *mix* é igual à contribuição das famílias, assim como a soma da contribuição setorial iguala-se às parcelas de insumos energéticos e não energéticos, cuja soma, por sua vez, é igual à contribuição tecnológica, tal que, somando ambas as contribuições, tecnológica e das famílias, tem-se a variação do produto. A decomposição foi realizada entre 1995 e 2005.

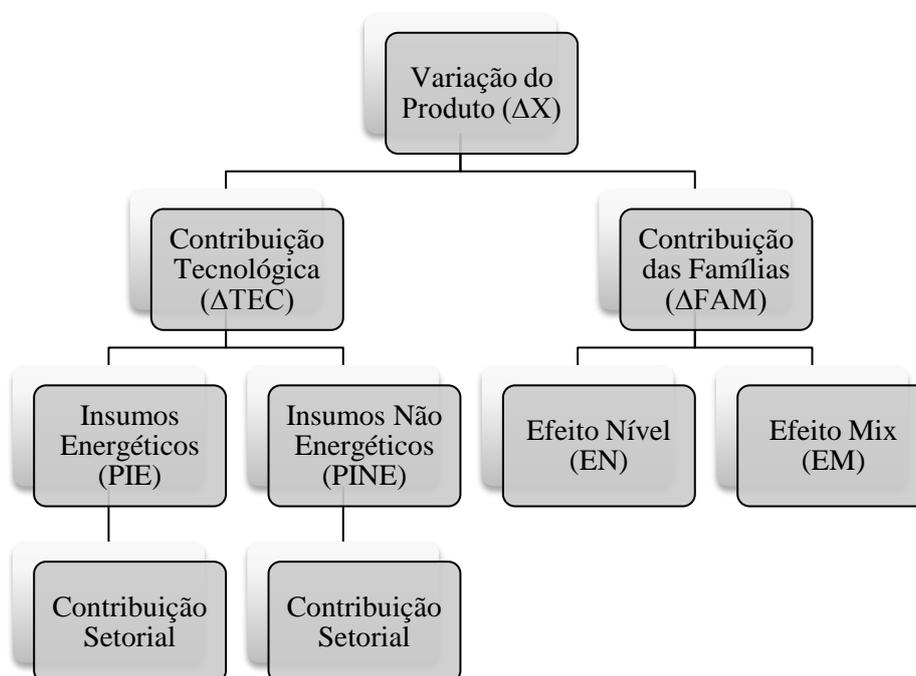


Figura 6 – Visualização da Análise de Decomposição Estrutural.
Fonte: Elaboração própria com base em Miller e Blair (2009) e Lin e Polenske (1995).

É importante destacar que o consumo de insumos energéticos se refere ao chamado *end-use*, ou seja, é o uso final de energia feito pelos setores. Dessa forma, o que é captado na análise é o consumo de cada insumo que cada setor fez, não sendo, portanto, captado o

consumo proveniente de transformações. Por exemplo, sabe-se que a partir de usinas nucleares há a produção de eletricidade que é transmitida para famílias e firmas, porém o que se identifica é apenas o consumo elétrico, independente da fonte em que foi produzida.

4.1 Análise Agregada

Nesta seção são analisados os resultados agregados das Análises de Decomposição Estrutural³⁸. A Figura 7³⁹ apresenta para todos os países o sinal da variação do produto (ΔX), da contribuição tecnológica (ΔTEC) e da contribuição das famílias (ΔFAM). Este é um primeiro passo para verificar semelhanças e diferenças entre os países em desenvolvimento e os países desenvolvidos, e como cada componente explica esta variação no uso de insumos energéticos.

Os países em desenvolvimento (Brasil, China e Índia) apresentam aumento do uso dos insumos energéticos como um todo. Ao desagregar esta variação, nota-se que o Brasil é o único a apresentar contribuições positivas para ambas as parcelas, sendo que China e Índia apresentam contribuições negativas para variação tecnológica, isto é, diminuição do uso dos insumos energéticos pela estrutura produtiva, e aumento do uso de energia decorrente da demanda das famílias. A parcela de contribuição das famílias é maior nos três países.

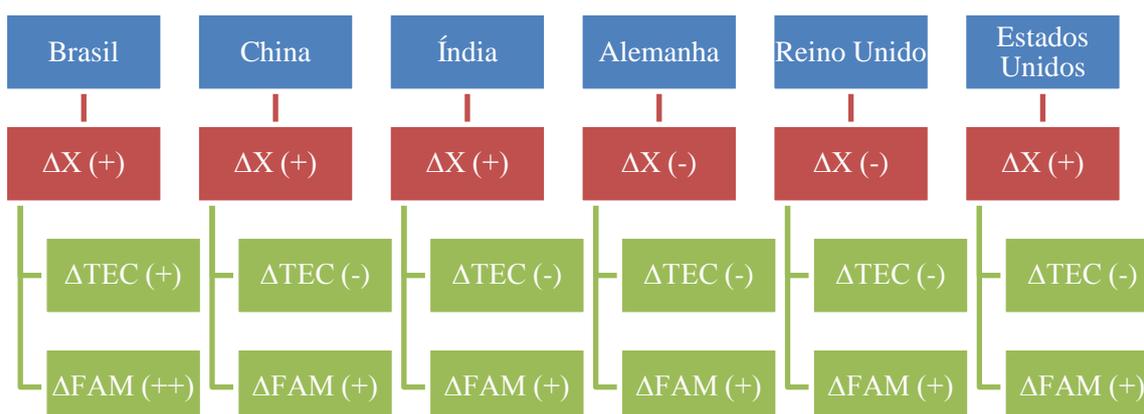


Figura 7 – Resultados agregados da ADE.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

³⁸ Todos os valores dos resultados agregados e desagregados estão nos anexos IV, V e VI.

³⁹ Para facilitar a visualização de qual contribuição é maior, quando ambas as contribuições foram no mesmo sentido, a maior contribuição foi evidenciada pela presença dobrada do sinal positivo ou negativo.

No caso dos países desenvolvidos (Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos), os dois primeiros apresentam diminuição do uso dos insumos energéticos como um todo e os EUA mostra aumento do uso desses insumos. A contribuição tecnológica para a variação do produto é negativa em todos os países, isto é, a estrutura produtiva desses países consome menos energia; contudo, a demanda das famílias contribui positivamente para o aumento do uso dos insumos energéticos em todos os países. Nota-se que a parcela tecnológica se mostra mais importante no caso da Alemanha e Reino Unido e menos para os Estados Unidos.

Comparando os grupos de países, observa-se que as famílias em geral exercem uma pressão para o aumento do uso energético em todos os países. O Brasil é o único caso em que a estrutura produtiva se tornou em geral mais energointensiva, ou seja, passou a utilizar mais energia para atender à demanda final. E apenas na Alemanha e Reino Unido a contribuição tecnológica se mostrou mais importante.

A Figura 7 apresenta a estrutura detalhada na equação (13), e como visto é possível desagregar os resultados apresentados. Já a Figura 8 baseia-se na equação (16), apresentando a contribuição das famílias (ΔFAM), dividida em duas parcelas, uma de efeito nível (EN) e outra de efeito *mix* (EM). O efeito nível está relacionado à quantidade que é demandada, enquanto o efeito *mix* refere-se à distribuição dos gastos. Na figura, entre parêntesis são apresentados os sinais agregados para cada contribuição.

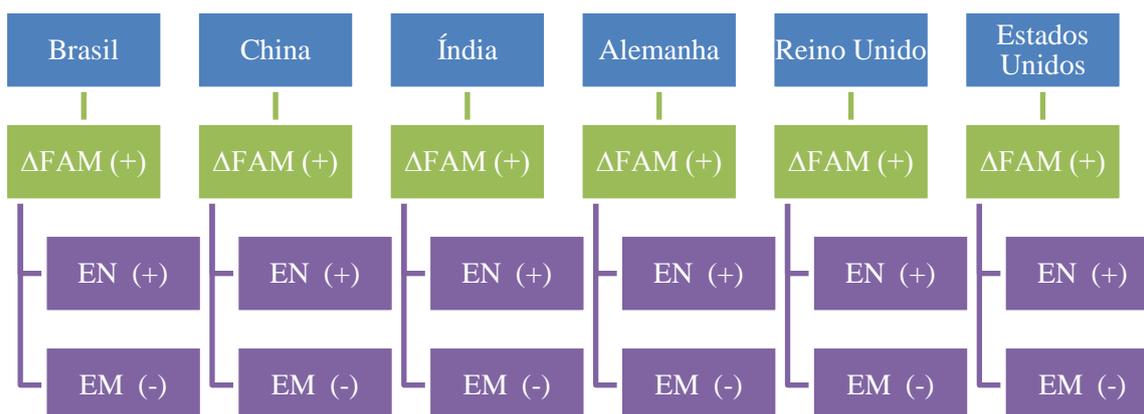


Figura 8 – Resultados desagregados para Contribuição das Famílias.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Como é possível observar, para a contribuição das famílias, de forma agregada, os países desenvolvidos e em desenvolvimento apresentam a mesma estrutura, isto é, as famílias contribuem positivamente para o uso de energia, e apesar de haver um menor gasto, direto e

indireto, com os insumos energéticos devido à diversificação dos gastos (efeito *mix* negativo), a quantidade demandada pelas famílias (efeito nível) aumentou numa proporção que faz com que a contribuição das famílias seja positiva e supere o efeito *mix*.

Retomando a Figura 2, pode-se afirmar que houve um deslocamento da curva de demanda para a direita, isto é, um aumento da demanda por insumos energéticos, possível resultado de uma expansão de renda que tem seu equilíbrio numa curva de indiferença superior à do ano inicial de análise (1995). Ainda houve um deslocamento sobre a curva de indiferença das famílias, tal que as cesta de bens consumida, passa a ter menos insumos energéticos e mais de outros bens.

As contribuições tecnológicas (ΔTEC) podem ser desagregadas em duas, como visto na equação (23), de tal modo que uma capta as variações tecnológicas apenas no uso dos insumos energéticos (PIE) e a outra capta as variações tecnológicas nos insumos não energéticos (PINE). Assim, é possível compreender como é alterado o uso dos insumos energéticos em duas situações: i) a modificação somente na estrutura de uso energético dos países; e ii) se tomado apenas as pressões indiretas via demanda dos insumos não-energéticos.

A Figura 9 apresenta os resultados agregados para a variação tecnológica total, e as parcelas de insumos energéticos e não energéticos. Como na Figura 7, entre parênteses é apresentado o sinal do valor agregado para cada contribuição.

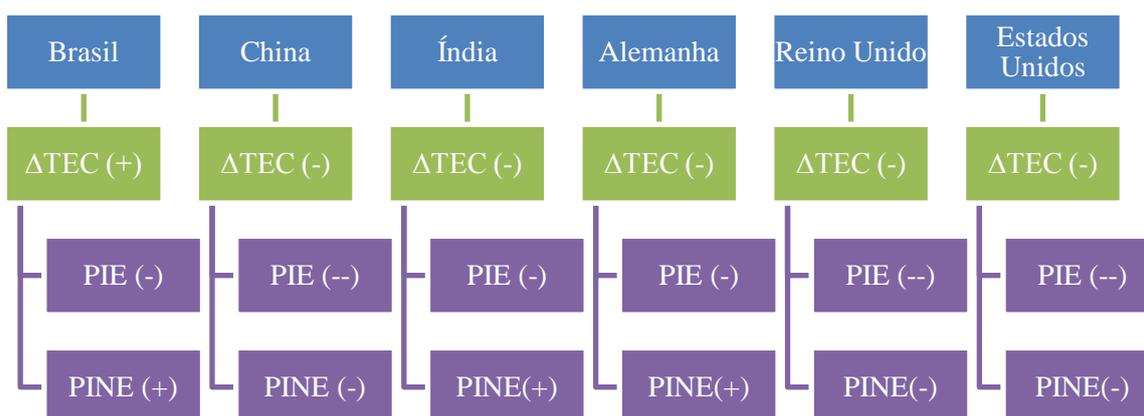


Figura 9 – Resultados desagregados para Contribuição Tecnológica.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Como na Figura 7, a Figura 9⁴⁰ evidencia que o Brasil é o único país que apresenta contribuições tecnológicas positivas. Entretanto, nesta figura é possível verificar que este é o único país onde a parcela dos insumos não energéticos é mais importante que a parcela de insumos energéticos. Em todos os países, a mudança tecnológica nos insumos energéticos apresentou contribuições negativas para o uso de energia, isto é, os setores produtivos mudaram a forma de usar a energia, sendo necessários menos insumos energéticos para produzir a quantidade requerida pela demanda final, que no período aumentou em todos os países menos na Alemanha e Reino Unido.

A variação tecnológica dos insumos não energéticos, por sua vez, difere entre os países. No Brasil, Índia e Alemanha, a produção dos insumos não energéticos apresentou contribuição positiva, isto é, está sendo requerida mais energia para esta produção em 2005 do que em 1995. Esta análise é invertida para China, Reino Unido e Estados Unidos, que apresentaram contribuições negativas da parcela de variação tecnológica dos insumos não energéticos.

Seguindo a lógica de desagregação, o próximo passo é analisar a contribuição setorial das variações tecnológicas, agregada ou de cada uma das parcelas desagregadas – insumos energéticos e não energéticos. As Figuras 10 e 11 apresentam para os países desenvolvidos e em desenvolvimento, respectivamente, os setores que possuem contribuições positivas para as parcelas desagregadas da contribuição tecnológica.

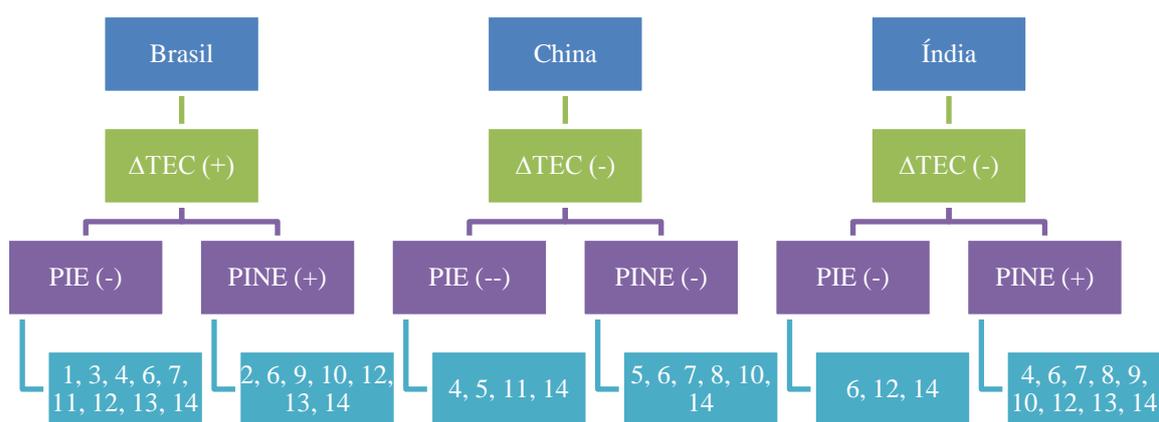


Figura 10 – Setores com contribuições positivas para PIE e PINE nos países em desenvolvimento
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

⁴⁰ Ver nota de rodapé 44.

No caso do Brasil, nove setores⁴¹ apresentam contribuições positivas para uso de energia quando consideradas somente as mudanças na tecnologia do uso de insumo energético, e sete setores apresentam contribuições positivas quando as mudanças técnicas ocorrem apenas nos insumos não energéticos. Isto evidencia que as contribuições positivas, apesar de serem mais presentes, são em geral de menor ordem que as negativas, pelo menos no que concerne à parcela de insumos energéticos. Este resultado é semelhante ao da Alemanha, que apresenta oito setores com contribuições positivas para PIE e onze para PINE, porém, como no Brasil, a PINE agregada é positiva.

Os demais países, China, Índia, Reino Unido e Estados Unidos, apresentam menos setores (entre três e seis) com contribuições positivas para PIE e um pouco mais de setores com contribuições positivas para PINE (entre três e sete), sendo exceção a Índia, que apresenta contribuições positivas da PINE agregada em nove dos quatorze setores.

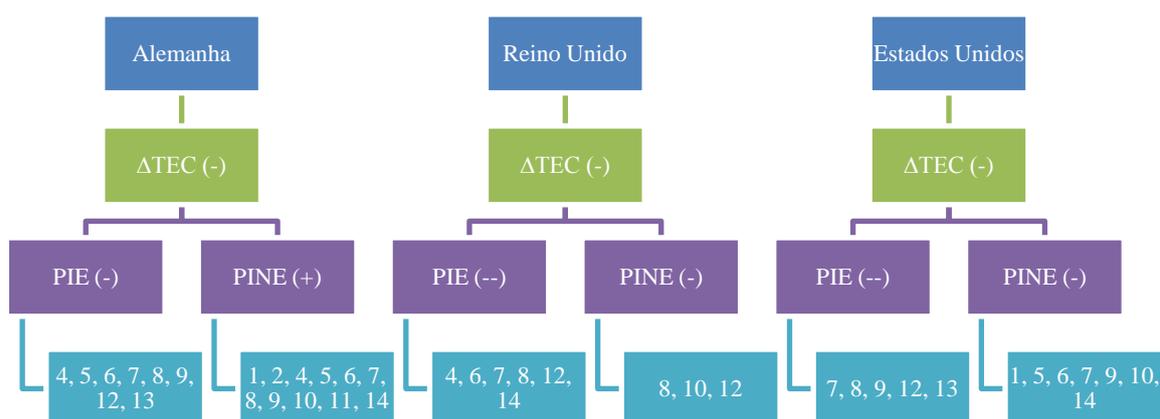


Figura 11 – Setores com contribuições positivas para PIE e PINE nos países desenvolvidos

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

A tabela 6 complementa a análise evidenciada pelas Figuras 10 e 11, ao apresentar os quatro setores que mais contribuem para cada parcela, sendo que os setores marcados de vermelho, correspondem àqueles em que a contribuição é negativa. Como é possível notar, em geral os setores se repetem nos países, com poucas variações.

⁴¹ É interessante relembrar os 14 setores que compõem as matrizes de insumo produto: Aço e Ferro (1), Químico e Petroquímico (2), Metais Não Ferrosos (3), Minerais Não Metálicos (4), Mineração e Pelotização (5), Alimentos e Tabaco (6), Papel, Impressão e Celulose (7), Têxteis e Couro (8), Indústrias Não Específicas (9), Transportes (10), Comércio e Setor Público (11), Agricultura (12), Outros Não Específicos (13) e Energético (14).

Poder-se-ia esperar que os setores mais energointensivos fossem aqueles com maiores contribuições, porém isto ocorre principalmente quando se analisa a variação tecnológica apenas dos insumos energéticos. Quando são analisadas as contribuições devidas às mudanças no uso dos insumos não energéticos, nota-se que setores como comércio e serviços passam a ter maior destaque em todos os países. O resultado global pode ser entendido como uma soma das parcelas.

Tabela 6 – Setores que mais contribuem para as parcelas tecnológica total, tecnológica de insumos energéticos e tecnológica de insumos não energéticos

		Aço	Quim	Met. NF	Min. NM	Min/ Pel	Alim	Papel	Text	I.N.E.	Trans	Com/ SP	Agric.	O.N.E.	Energ
ΔTEC	BRA						X			X	X			X	
	CHN		X		X					X					X
	IND									X	X	X			X
	ALE		X							X	X	X			
	RU		X							X	X			X	
	EUA		X								X	X		X	
PIE	BRA	X			X		X				X				
	CHN	X	X		X						X				
	IND		X		X					X	X				
	ALE		X							X	X			X	
	RU		X								X	X		X	
	EUA		X					X			X	X			
PINE	BRA									X		X		X	X
	CHN				X					X				X	X
	IND	X								X		X			X
	ALE									X	X	X		X	
	RU						X			X	X				X
	EUA			X						X		X		X	

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Como levantado na seção 2.2, há setores que são mais demandados na estrutura produtiva e assim podem estar consumindo mais energia para atender não só à demanda final como também aos demais setores da economia. A seção 3.2.1 evidenciou os principais setores demandados na economia, e também aqueles que cresceram de importância como fornecedores no período de análise. Assim, é possível fazer uma referência cruzada entre os setores apresentados nas tabelas 5 e 6 de forma a verificar se os setores que são considerados fornecedores foram aqueles que mais contribuíram para explicar a variação do uso dos insumos energéticos.

Em geral, é possível perceber que, dos setores agregados que são destaques na seção 3.2.1, pelo menos três das maiores contribuições⁴² para explicação da variação do uso energético, seja considerando apenas os insumos energéticos, os insumos não-energéticos, ou ainda a variação tecnológica setorial total (soma da PIE e PINE), são de setores considerados fornecedores na economia, ou seja, a demanda por esses setores é importante para explicar a variação do uso de energia.

Assim, com a análise agregada apresentada na Figura 7, é possível fazer três grupamentos de países que possuem similaridades no que concerne ao uso energético, tendo em vista os resultados agregados da ADE. O primeiro grupo seria formado pelo Brasil, que, apesar de apresentar algumas semelhanças com os demais países, é o que se mostra mais diferente entre todos os países, principalmente quando se analisam as contribuições tecnológicas.

O segundo grupo seria formado por Índia e Alemanha, que mostram resultados semelhantes em todas as parcelas. O terceiro grupo seria constituído de China, Reino Unido e Estados Unidos, que se mostram semelhantes nas contribuições agregadas, porém, se analisadas num nível setorial, estas contribuições não são evidentes como no caso do grupo 2.

Ao estender esta análise para um nível mais desagregado e principalmente setorial (Figuras 8 a 11 e tabela 6), os três grupamentos se mantêm, porém é possível observar semelhanças, principalmente setoriais, entre Brasil e Alemanha, China e Estados Unidos e Reino Unido e Índia. As semelhanças entre CHN e EUA e RU e IND ficam mais evidentes ao se tomar o processo histórico de formação dos países emergentes, visto que a Índia é antiga colônia inglesa e a China se beneficiou do processo de deslocamento das indústrias americanas que, em busca de preços mais baixos, principalmente de mão de obra, exportaram as suas plantas para a China, levando consigo grande parte do processo produtivo necessário para suprir as suas necessidades.

O Brasil, por sua vez, como destacado por Cohen (2005), assim como os demais países em desenvolvimento, tem o seu parque industrial baseados em indústrias maduras provenientes de países desenvolvidos. A autora afirma que o deslocamento das atividades industriais não prioritárias dos países desenvolvidos para países em desenvolvimento em busca de mão-de-obra e matérias-primas a preços menores está redefinindo as condições da Divisão Internacional do Trabalho. Tomalsquim *apud* Cohen (2005) exemplifica esta situação

⁴² A única exceção é no caso da PINE para os Estados Unidos, em que apenas dois dos setores com maiores contribuições fazem parte da lista de setores considerados, neste trabalho, como importantes fornecedores na economia.

evidenciando que enquanto em meados da década de 1970 o Brasil com o II Plano Nacional de Desenvolvimento tinha como prioridade setores de bens de capital, eletrônica pesada e bens intermediários, o Japão por sua vez, redirecionava seu crescimento, que tinha como base a indústria pesada, para setores de alta tecnologia.

Para melhor entender esses resultados e ver até que ponto os grupamentos são sustentados, a seção 4.2 apresenta resultados desagregados para todos os países, porém para cada um dos insumos analisados neste trabalho.

4.2 Resultados por tipo de insumo

Nesta seção são analisados os resultados desagregados por tipo de insumo para cada um dos países, de maneira análoga à análise dos resultados agregados, isto é, será seguida a mesma estrutura da seção 4.1, com a utilização do sinal do resultado e não do seu valor. Assim, a Figura 5, baseada na fórmula 15, está representada nas tabelas 7 a 11 que ilustram os resultados para cada um dos insumos Carvão (C), Petróleo e Gás (P&G), Renováveis (R), Eletricidade (E) e Outros (O).

Os resultados desagregados para o insumo Carvão estão evidenciados na tabela 7, que agrega as informações disponibilizadas nas Figuras 7 a 11, porém para apenas um insumo. É possível observar que Brasil, China e Estados Unidos tiveram uma variação positiva do uso de carvão (C), enquanto Índia, Alemanha e Reino Unido apresentaram uma variação negativa do uso deste insumo energético.

Ao desagregar essa variação em duas – decorrente do uso das famílias e das mudanças na estrutura produtiva – nota-se que o Brasil é o único país onde o uso de carvão aumenta no período decorrente das variações tecnológicas, e na Alemanha e Reino Unido as famílias tiveram contribuições negativas para o uso deste insumo.

A demanda das famílias, ao ser desagregada, revela que o efeito nível, ou quantidade, é positivo para todos os países, e o efeito *mix*, ou distribuição dos gastos é negativo em todos os países. Isto mostra que, enquanto a quantidade de carvão consumida (deslocamento da curva de demanda) pelas famílias, direta e indiretamente, é o determinante para o efeito da sua contribuição no Brasil, China, Índia e Estados Unidos, o deslocamento sobre a curva de indiferença (cesta de bens consumida), isto é, as preferências das famílias alemãs e inglesas determinou no período o sentido de suas contribuições.

Tabela 7 – Resultados da ADE desagregados para Carvão

	BRA	CHN	IND	ALE	RU	EUA
ΔX	+	+	-	-	-	+
ΔFAM	++	+	+	-	-	+
E.N.	+	+	+	+	+	+
E.M.	-	-	-	-	-	-
ΔTEC	+	-	-	--	--	-
PIE	+	--	-	--	--	+
Set. (+)	1, 3, 5, 6, 9, 11, 12, 13	4,14	3, 6, 12	5	4, 8, 12	2, 6, 7, 8, 9, 12, 14
PINE	-	-	+	-	-	-
Set. (+)	2, 6, 9, 12, 13, 14	5, 6, 7, 8, 10,14	4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14	1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 14	8, 12	5, 9

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

A parcela tecnológica, como mostrado na equação (24), pode ser desagregada em variações decorrentes de mudanças na estrutura produtiva, considerando apenas os insumos energéticos (PIE) e somente os insumos não energéticos (PINE). No caso do insumo carvão, o PIE foi positivo para Brasil e Estados Unidos e o PINE foi negativo para todos os países menos a Índia, revelando ser a parcela de insumos energéticos a mais importante para todos os países analisados, com exceção dos Estados Unidos. A desagregação setorial, como esperado, revela que, em geral, os setores com maiores contribuições positivas estão nos países onde o sentido da contribuição também foi positivo. Brasil, China e Alemanha, apresentaram pelo menos seis setores com contribuições positivas, ao desagregar o PINE, porém essas contribuições tiveram valores menores.

Ao traçar um paralelo dos resultados do carvão com as Figuras 3 e 4 apresentadas no capítulo 2, esperava-se que a variação do uso deste insumo (ΔX) estivesse diminuindo no tempo, porém para alguns casos – BRA, CHN e EUA – isto não ocorre. No entanto, esta variação positiva está mais associada à variação do uso deste insumo pelas famílias, de modo que, exceto no Brasil, o uso de carvão na estrutura produtiva foi negativo.

Assim como para o resultado agregado é possível fazer um grupamento dos países de acordo com a desagregação, seguindo para tanto a Figura 5. Ao considerar apenas o insumo carvão, têm-se quatro grupamentos: um representado pelo Brasil, outro por China e Estados Unidos, um terceiro pela Índia e um quarto grupamento por Alemanha e Reino Unido. Apesar de estarem em diferentes grupamentos, nota-se que há semelhanças num nível mais

desagregado (PIE e PINE) entre Brasil e Estados Unidos e entre China, Índia, Alemanha e Reino Unido.

A tabela 8 apresenta os resultados desagregados para o insumo Petróleo e Gás. A variação do uso de P&G (ΔX) mostra que, enquanto os países emergentes utilizaram mais deste insumo no período analisado, houve nos países desenvolvidos uma queda do uso do insumo, reforçando os resultados evidenciados por IEA (2008).

As famílias são a principal parcela para explicar tal resultado, em todos os países. Isto é, apesar de as famílias estarem gastando menos com P&G em favor de outros insumos/produtos (efeito *mix*), a quantidade demandada pelas famílias é tão grande que suplanta este efeito, e ainda o efeito das mudanças tecnológicas, em todos os países, menos o Brasil, apresenta resultados negativos, ou seja, a estrutura produtiva como um todo consome menos Petróleo e Gás.

Tabela 8 – Resultados da ADE desagregados para Petróleo e Gás

	BRA	CHN	IND	ALE	RU	EUA
ΔX	+	+	+	-	-	-
ΔFAM	++	+	+	+	+	+
E.N.	+	+	+	+	+	+
E.M.	-	-	-	-	-	-
ΔTEC	+	-	-	-	-	-
PIE	-	-	-	-	--	--
Set. (+)	1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 14	4, 5, 9, 11, 12, 14	6, 12, 14	4, 5, 6, 7, 8	6, 8, 14	7, 8, 9, 12, 13
PINE	+	+	+	+	-	-
Set. (+)	2, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 14	5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14	3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14	1, 8, 10, 11, 12	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

A desagregação da parcela tecnológica em uma parcela relativa às mudanças associadas ao uso dos insumos energéticos e outra dos insumos não energéticos mostra que, apenas no Brasil, a PINE é mais importante, sendo que nos demais países a PIE é que mais explica a parcela tecnológica total. É interessante notar, entretanto, que Brasil, China, Índia e Alemanha apresentam PIE negativa e PINE positiva, enquanto Reino Unido e Estados Unidos apresentam ambas as parcelas negativas.

Como é possível notar, assim como no caso do carvão, em geral os setores com contribuições positivas estão presentes em países onde as parcelas agregadas também são

positivas, sendo a exceção os Estados Unidos, que para PIE possuem cinco setores com contribuições positivas e para PINE apresenta nove setores com contribuições positivas.

Ao buscar um grupamento de países baseado na Figura 5, também é possível encontrar quatro grupamentos, formados por: i) Brasil, ii) China e Índia, iii) Alemanha e iv) Reino Unido e Estados Unidos. Olhando as similaridades num nível mais desagregado (PIE/PINE), nota-se que Brasil, China, Índia e Alemanha possuem resultados semelhantes e Estados Unidos e Reino Unido se mostram iguais entre si.

A tabela 9 apresenta os resultados desagregados para o insumo Renováveis. Diferentemente dos demais tipos de energia, espera-se que haja variação positiva deste tipo de insumo, já que, com o desenvolvimento, social e produtivo, ocorrem pressões para a substituição de energias mais poluidoras e menos eficientes por energias mais limpas e eficientes. Nota-se que China e Reino Unido são os únicos países a apresentarem uma variação negativa do uso deste insumo.

A parcela de contribuição das famílias é positiva para todos os países menos China, enquanto a parcela tecnológica é positiva para todos os países, menos Índia e Reino Unido. Brasil, China, Índia e Alemanha foram os países onde a parcela das famílias foi a mais importante, tal que o inverso ocorreu no Reino Unido e Estados Unidos, isto é, a parcela tecnológica foi mais importante.

Tabela 9 – Resultados da ADE desagregados para Renováveis

	BRA	CHN	IND	ALE	RU	EUA
ΔX	+	-	+	+	-	+
ΔFAM	++	-	+	++	+	+
E.N.	+	+	+	+	+	+
E.M.	-	-	-	-	-	-
ΔTEC	+	+	-	+	-	++
PIE	+	++	-	++	--	+
Set. (+)	1, 4, 6, 7, 9, 12, 13	4, 5, 11, 13, 14	6, 12, 14	4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 14	4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14	2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
PINE	++	+	+	+	-	-
Set. (+)	3, 6, 9, 10, 12, 13, 14	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14	4, 6, 7, 8, 9, 12, 14	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14	1, 7, 8, 10, 13	1, 5, 8, 9

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Analisando os efeitos nível e *mix*, que compõem a parcela das famílias, é possível notar que, assim como para Carvão e Petróleo e Gás, o efeito nível ou quantidade foi positivo em todos os países, enquanto o efeito *mix* foi negativo em todos os países. É interessante notar entretanto que, para China, o efeito *mix* sobrepõe-se o efeito nível, ou seja, apesar de as famílias estarem gastando mais, suas modificações de preferências em relação à energia renovável dominou o efeito renda ou gasto.

As parcelas que compõem a contribuição tecnológica – PIE e PINE – mostram que para Índia e Reino Unido a primeira é negativa e para os demais países é positiva, enquanto a segunda é negativa no Reino Unido e Estados Unidos e positiva nos outros países. Assim como nos outros insumos, se o sinal da parcela (PIE ou PINE) é positivo, mais setores têm contribuições positivas, destacando-se, porém, o caso chinês para PIE, em que, apesar de haver apenas cinco setores com contribuições positivas, a parcela é positiva, evidenciando uma maior importância destes setores destacados (4, 5, 11, 13, 14) para o uso do insumo Renováveis.

Seguindo a mesma lógica utilizada para os insumos Carvão e Petróleo e Gás, de acordo com a Figura 5, pode-se fazer agrupamentos de países com resultados semelhantes. No caso do insumo Renováveis, visualizam-se quatro agrupamentos, sendo o primeiro constituído de Brasil, Alemanha e Estados Unidos, o segundo da Índia, o terceiro da China e o quarto do Reino Unido, de tal modo que, num nível mais agregado, é possível juntar China e Reino Unido em um só agrupamento.

Na tabela 10 os resultados são visualizados para o insumo Eletricidade. Este insumo, diferentemente de todos os outros, apresenta variação do uso positiva para todos os países. A parcela das famílias também é positiva e a mais importante para todos os países. Por sua vez, a parcela tecnológica é positiva para Brasil, China e Alemanha, e negativa para Índia, Reino Unido e Estados Unidos.

A desagregação da parcela das famílias mostra os efeitos nível e *mix*, sendo que o primeiro é positivo e o segundo é negativo em todos os países. Isto evidencia que o deslocamento da curva de demanda devido ao efeito renda é maior que aquele devido à mudança dos gostos associado à modificação da cesta de bens consumida pelas famílias.

Ao analisar a PIE e PINE, percebe-se que a primeira é negativa somente na Índia e Estados Unidos e a segunda é negativa apenas nos países desenvolvidos. É interessante notar que para Eletricidade a PIE só não é mais importante que a PINE para explicar Δ TEC no Reino Unido. No nível de contribuição setorial, o mesmo padrão dos outros insumos é mantido, isto é, o número de setores com um sinal (positivo ou negativo) é o que determina o

sentido da contribuição. Entretanto, no caso da Alemanha, para o PINE, apesar de metade dos setores apresentarem sinais positivos, as contribuições negativas foram maiores. Em termos de grupamentos (Figura 5), é possível observar três grupamentos como: i) Brasil e China; ii) Alemanha; iii) Índia, Reino Unido e Estados Unidos.

Tabela 10 – Resultados da ADE desagregados para Eletricidade

	BRA	CHN	IND	ALE	RU	EUA
ΔX	+	+	+	+	+	+
ΔFAM	++	++	+	++	+	+
E.N.	+	+	+	+	+	+
E.M.	-	-	-	-	-	-
ΔTEC	+	+	-	+	-	-
PIE	++	++	-	+	+	--
Set. (+)	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14	4, 5, 8, 11, 13, 14	6, 14	4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14	2, 4, 6, 7, 8, 12, 14	6, 7, 8, 12, 13
PINE	+	+	+	-	-	-
Set. (+)	6, 9, 12, 13, 14	5, 6, 7, 8, 10, 14	4, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	1, 4, 7, 8, 9, 10, 14	8, 10, 13	5, 9

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

A tabela 11, por sua vez, apresenta os resultados para o insumo Outros. Nota-se que Brasil e Índia não fazem uso deste tipo de insumo, visto que são países tropicais e, portanto não fazem uso de Aquecimento (principal componente deste insumo). Dos demais países, apenas os Estados Unidos apresentam variação negativa deste insumo. Ao desagregar o uso (ΔX) em contribuição das famílias (ΔFAM) e tecnológicas (ΔTEC), nota-se que, para a primeira, apenas Alemanha apresenta contribuição negativa, enquanto, para segunda, a contribuição negativa ocorre na China e Estados Unidos.

A desagregação da parcela tecnológica revela que o efeito nível é negativo para Alemanha e positivo para os outros países, e o efeito *mix* é negativo em todos. Nota-se também que o primeiro é maior que o segundo. Já a desagregação da parcela tecnológica revela que a PIE é superior à PINE em todos os países, sendo que a primeira (PIE) é negativa na China e Estados Unidos e a segunda (PINE) é negativa no Reino Unido e nos Estados Unidos. Em termos de grupamento é possível formar três grupos, um formado por China e Reino Unido, outro pela Alemanha e um terceiro pelos Estados Unidos.

A análise individual de cada um dos insumos permite revelar padrões específicos para cada insumo, porém a comparação entre estes possibilita a percepção de similaridades.

Confrontando a parcela de contribuição da demanda das famílias para cada insumo, é possível perceber que há, em geral, um aumento do consumo dos insumos energéticos pelas famílias, e este efeito é mais dependente da quantidade consumida do que da cesta de bens consumida pelas famílias.

Tabela 11 – Resultados da ADE desagregados para Outros

	BRA	CHN	IND	ALE	RU	EUA
ΔX		+		+	+	-
ΔFAM		+		-	+	+
E.N.		+		--	+	+
E.M.		-		-	-	-
ΔTEC		-		+	++	-
PIE		-		++	+	--
Set. (+)		4, 8, 11, 14		8, 9, 12, 13	2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14	12, 13, 14
PINE		+		+	-	-
Set. (+)		5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14		1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14	1, 8, 13	5, 9

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

É importante salientar que, no período de análise, houve nos países emergentes mudanças econômicas e estruturais que culminaram na elevação do nível de renda, o que também ocorreu nos países desenvolvidos, dado que, apesar de algumas crises, o período foi de maior estabilidade macroeconômica. Como discutido na seção 2.2, o aumento do nível de renda altera não só a demanda em quantidade, ao preferir cestas de bens superiores, assim como há modificações na própria preferência das famílias.

Dois casos são interessantes de notar: Petróleo e Gás e Eletricidade. Esses dois insumos foram os únicos que apresentaram contribuição positiva das famílias em todos os países, e apresentaram também, assim como outros insumos, efeito nível positivo para todos os países e efeito *mix* negativo para todos os insumos.

Ambos os insumos são importantes para as famílias, visto que a Eletricidade é o principal insumo energético consumido diretamente pelas famílias, e Petróleo e Gás tem sua importância principalmente nos seus derivados como gasolina, GLP, dentre outros. Assim, pode-se especular que o aumento do nível de renda das famílias faz com que haja uma mudança nas preferências tal que mais bens são consumidos na sua cesta, diminuindo a importância do consumo direto destes bens (efeito *mix* negativo); da mesma forma que esses

outros bens (bens de consumo durável) consumidos demandam Eletricidade e Petróleo e Gás, porém, devido à quantidade de famílias que passam a aumentar seu consumo, este efeito quantidade é positivo e de maior magnitude que o efeito *mix*.

Porém a parcela de demanda das famílias não é a única a explicar a variação do uso dos insumos energéticos. Como visto na seção 2.3, o progresso técnico tem um importante papel neste cenário, já que temas como substituição de fontes, eficiência, uso de insumos renováveis, e modificação da estrutura produtiva, por exemplo, são vislumbrados neste debate.

Analisando a contribuição tecnológica, desde seu resultado mais agregado até o mais desagregado (contribuição setorial para parcela de insumos energéticos (PIE) e não-energéticos (PINE)), é possível perceber que há certas particularidades em cada país e suas respectivas estruturas produtivas. Essas particularidades como apontado por Solomon (2004) e Madlener (2009), são frutos de um processo histórico e geográfico, que contribuíram para o desenvolvimento das atividades econômicas e seus processos produtivos de cada país.

Dos pontos levantados como importantes de serem observados a partir da análise da contribuição do progresso tecnológico, tem-se que substituição e eficiência não são separáveis com a metodologia utilizada, mas uma boa *proxy* é a análise da PIE. Esta parcela capta como o uso de um determinado insumo se deu, visto que houve modificações apenas na estrutura produtiva energética, ou seja, como todos os setores fazem uso de todos os insumos energéticos, assim é possível captar se a estrutura produtiva energética está consumindo menos energia como um todo e quais insumos estão aumentando ou diminuindo seu uso, visto a modificação desta parte da estrutura produtiva.

Concentrando-se então na PIE dos países em desenvolvimento verifica-se que o Brasil apresenta contribuições positivas para todos os insumos com exceção de P&G. A princípio poder-se-ia pensar que a estrutura produtiva brasileira está consumindo mais energia, porém, ao olhar o valor das contribuições (Anexo IV), nota-se que a diminuição do uso de P&G é maior que o aumento do uso dos demais insumos, o que pode ser um indício de que está havendo substituição e eficiência energética. Na China as contribuições positivas na PIE são dos insumos R e E, de forma que, ao comparar os valores das contribuições, a parcela PIE é negativa, revelando a possibilidade de estar havendo substituição e eficiência do uso energético. O mesmo ocorre na Índia, onde todas as contribuições na PIE são negativas. Todos os insumos negativos na PIE revelam que a mudança da estrutura produtiva energética faz com que menos de um determinado insumo seja requerido; assim, neste caso, menos de todos os insumos foi requerido para produzir o necessário para atender às famílias.

No caso dos países desenvolvidos o mesmo padrão segue: alguns insumos possuem PIE positiva (entre parêntesis) e outros negativos – Alemanha (R, E, O), Reino Unido (E e O), Estados Unidos (C e R). Porém, quando analisados os valores das parcelas de cada um dos insumos, nota-se que a PIE total se mostra negativa, o que novamente indica a possibilidade de eficiência e substituição de insumos.

O uso de insumos renováveis pode ser captado pela análise do próprio insumo; assim, nota-se que apenas Índia e Reino Unido apresentam contribuições negativas não só para a parcela tecnológica total ou agregada (Δ TEC), como também para a parcela tecnológica que considera apenas os insumos energéticos (PIE), o que evidencia que a estrutura produtiva destes países passou a utilizar menos insumo R no processo de produção, assim como ao considerar as modificações apenas nos insumos energéticos, houve uma preferência por outros tipos de insumos em detrimento do insumo Renováveis.

A modificação da estrutura produtiva é a parcela Δ TEC, já que nesta considera-se toda a estrutura produtiva do país. Assim pode-se perceber que no Brasil, por exemplo, a contribuição de todos os insumos é positiva, o que mostra que a estrutura produtiva brasileira está se tornando mais energointensiva. A China apresenta contribuições positivas para os insumos Renováveis e Eletricidade, assim como no caso da PIE, porém a contribuição total é negativa, sendo a parcela do insumo C a principal componente ou determinante destes resultados. Na Índia, todos os insumos apresentam contribuições da parcela Δ TEC negativas, evidenciando que a estrutura produtiva do país está se tornando menos energointensiva.

No caso da Alemanha, os insumos Renováveis (R), Eletricidade (E) e Outros (O) possuem contribuições negativas, porém a contribuição negativa do petróleo é determinante para o resultado de menor uso energético pela estrutura produtiva alemã. Reino Unido e Estados Unidos apresentam para quatro dos insumos contribuições negativas tais que a contribuição positiva no caso do RU é do insumo Outros e no caso dos EUA do insumo Renováveis. Assim, é possível afirmar que ambas as estruturas produtivas estão se tornando menos energointensivas, de tal modo que, assim como no caso alemão, a parcela de P&G é a principal.

É interessante ressaltar que o resultado para estrutura produtiva brasileira ser diferente dos demais países pode ser conseqüência das modificações na estrutura produtiva referentes à crise energética brasileira, visto que o período de estudo (1995 a 2005) capta esta crise energética no país e as possíveis modificações ocorridas nos processos de produção com o intuito de se evitar perdas futuras na produção, decorrentes de possíveis novas restrições de oferta de energia elétrica, ou seja, a crise fez com que as indústrias nacionais se adequassem à

possíveis restrições de oferta de eletricidade. Desta forma o crescimento no uso de carvão, petróleo e gás, e renováveis podem ser fruto desta adequação das indústrias que operam no país.

Cabe ressaltar novamente que a metodologia utilizada neste trabalho não permite comparar os valores entre os países, já que a diferença na ordem pode levar a conclusões equivocadas.

Comparando assim os resultados das parcelas tecnológicas à luz das Figuras 3 e 4, nota-se que, considerando que ALE, RU e EUA estão num estado mais avançado de desenvolvimento socioeconômico e com estruturas produtivas já consolidadas, China e Índia estariam, visto o tipo de consumo e como as mudanças nas estruturas produtivas afetam o uso de cada insumo nesses países, num estágio mais próximo do avançado que do estágio intermediário, enquanto o Brasil também se encontra num estágio acima do intermediário, porém não tão próximo em termos de uso energético e estrutura produtiva. Esse resultado vai ao encontro das idéias de Cohen (2005), que afirma que a inserção na divisão internacional do trabalho é importante para explicar o uso de energia pelos países.

Por fim, em termos de grupamento considerando insumo a insumo, é interessante analisar dois tipos de grupamento, um em termos de famílias e outro em termos de estrutura produtiva, de tal modo que, em ambos os casos, três grupamentos são visualizados. Para famílias: i) China; ii) Brasil, Índia e Estados Unidos; Alemanha e Reino Unido. Para estrutura produtiva: a) Brasil; b) Estados Unidos, Alemanha e China; c) Reino Unido e Índia.

Quadro 1 - Quadro resumo dos resultados desagregados para cada país

	Brasil	China	Índia	Alemanha	Reino Unido	Estados Unidos
Variação do uso dos insumos energéticos (ΔX)	Variação positiva para todos os insumos (C, P&G, R e E).	Variação positiva para C, P&G, E e O, e negativa para R.	Variação positiva para P&G, R e E, e negativa para C.	Variação positiva para R, E e O, e negativa para C e P&G.	Variação positiva para E e O, e negativa para C, P&G e R.	Variação positiva para C, R e E, e negativa para P&G e O.
Contribuição das Famílias (ΔFAM)	Contribuição positiva e principal contribuição para todos os insumos.	Contribuição positiva para C, P&G, E e O. Principal contribuição para todos os insumos.	Contribuição positiva para todos os insumos. Principal contribuição para P&G, R e E.	Contribuição positiva para P&G, R, e E. Principal contribuição para R, e E.	Contribuição positiva para P&G, R, E e O. Principal contribuição para E.	Contribuição positiva para todos os insumos. Principal contribuição para C e E.
	Efeitos Nível e Mix					
	Efeito nível (positivo) maior que o efeito <i>mix</i> (negativo) para todos os insumos.	Efeito nível positivo e efeito <i>mix</i> negativo para todos os insumos; Efeito nível maior para C, P&G, E e O.	Efeito nível (positivo) maior que o efeito <i>mix</i> (negativo) para todos os insumos.	Efeito nível positivo para C, P&G, R. Efeito <i>mix</i> negativo para todos os insumos. Efeito nível maior que efeito <i>mix</i> para P&G, R, E e O.	Efeito nível positivo e efeito <i>mix</i> negativo para todos os insumos. Efeito nível maior que efeito <i>mix</i> para P&G, R, E e O.	Efeito nível (positivo) maior que o efeito <i>mix</i> (negativo) para todos os insumos.
Contribuição Tecnológica (ΔTEC)	Contribuição positiva para todos os insumos.	Contribuição positiva para R e E; negativa para C, P&G e O.	Contribuição negativa para todos os insumos.	Contribuição positiva para R, E e O; negativa para C, P&G.	Contribuição positiva para O; negativa para C, P&G, R e E.	Contribuição positiva para R; negativa para C, P&G, E e O.
	Parcelas de Insumos Energéticos e Não Energéticos					
	PIE positivo para C, R e E; PINE positivo para P&G, R e E; PIE maior que PINE para C e E.	PIE positivo para P&G, R e E; PINE positivo para R, E e O; PIE maior que PINE para todos os insumos.	PIE (negativo) e maior que PINE (positivo) para todos os insumos.	PIE positivo para R, E e O; PINE positivo para P&G, R e O; PIE maior que PINE para todos os insumos.	PIE positivo para E e O; PINE negativo para todos os insumos; PIE maior que PINE para C, P&G, R e O.	PIE positivo para C e R; PINE negativo para todos os insumos; PIE maior que PINE para P&G, R, E e O.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados.

5. CONCLUSÕES

A presente dissertação investigou como a mudança de elementos associados à demanda, mais especificamente à demanda das famílias e à estrutura produtiva, afetam o uso de diferentes insumos energéticos (Carvão, Petróleo e Gás, Renováveis, Eletricidade e Outros) em países desenvolvidos, aqui entendidos como países com estruturas produtivas consolidadas como Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos, e em países emergentes, aqui entendidos como países com estruturas produtivas em fase de consolidação, como Brasil, Índia e China.

Desta forma buscou-se responder às duas questões levantadas no capítulo 1: como fatores associados à demanda afetam o uso dos insumos energéticos?; e este processo se dá de maneira similar em economias já consolidadas e em economias emergentes?. Para avaliar estas questões, optou-se por utilizar matrizes de insumo-produto e utilizar a metodologia de Análise de Decomposição Estrutural (ADE).

A ADE decompõe a variação do uso de energia entre dois períodos de tempo, neste caso 1995 e 2005, em duas parcelas: variação da demanda final (ΔFAM) e contribuição tecnológica (ΔTEC), esta última representada pela variação da estrutura produtiva. A contribuição das famílias foi desagregada em efeito nível e efeito *mix* e a contribuição tecnológica em parcela de insumos energéticos e insumos não energéticos.

Ao fazer tais análises para os diversos países que se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento, foi possível responder às questões levantadas, uma vez que se estabeleceu como cada elemento afetou o uso de energia e, esses resultados (em termos de sentido da contribuição) puderam ser comparados entre os países.

Cabe destacar que a escolha do período se justifica por apresentar certa estabilidade macroeconômica e pelo fato de que nos países emergentes ocorreram modificações estruturais que impactaram de forma significativa a economia como um todo. Reforça-se mais uma vez que a comparação de valores entre os países não é aconselhável devido à diferença na ordem do consumo de cada país, o que pode levar a conclusões equivocadas.

Este estudo contribui para a literatura empírica de economia da energia, ao realizar a comparação entre países, tanto num mesmo estágio de desenvolvimento, como também em diferentes estágios, considerando a demanda como pano de fundo para compreender o comportamento das famílias, e a inovação e o desenvolvimento econômico para entender o processo de mudanças na estrutura produtiva.

Os principais resultados deste trabalho apontam que, em termos agregados, a variação do uso (ΔX) é positiva para todos os países menos Alemanha e Reino Unido. A contribuição das famílias é positiva para todos os países e a mais importante para Brasil, China, Índia e Estados Unidos. A decomposição da contribuição das famílias (ΔFAM) revela que o efeito quantidade (nível) é positivo e o efeito alocação (*mix*), negativo, de modo tal que o primeiro é maior que o segundo. A contribuição tecnológica (ΔTEC) é positiva apenas para o Brasil, e a sua decomposição em parcela de insumos energéticos (PIE) e de insumos não energéticos (PINE) evidencia que a primeira é negativa para todos os países, e a segunda é positiva para Brasil, Índia e Alemanha. A PIE se mostra mais importante para explicar ΔTEC que a PINE em todos os países com exceção do Brasil.

Em termos desagregados para cada insumo, nota-se que para os países emergentes: i) a variação do uso dos insumos é positiva para a maioria deles (Carvão, Petróleo e Gás, Renováveis e Eletricidade); ii) a contribuição das famílias é, em geral, positiva e a principal parcela, sendo a exceção insumo Renováveis na China; iii) o efeito nível é positivo, e maior que o efeito *mix*, que se apresenta negativo, para todos os insumos e países exceto Renováveis na China, onde o efeito *mix* é maior que o efeito nível; iv) a contribuição tecnológica é positiva no Brasil, negativa na Índia e para alguns casos positiva e outros negativa na China; v) PIE sobrepõe PINE, tal que no Brasil na maioria dos insumos a PIE é positiva, na China para três dos cinco insumos ele é positivo e na Índia ele é negativo para todos os insumos.

Para os países desenvolvidos tem-se que: i) na Alemanha e Estados Unidos há variação positiva em três dos cinco insumos, no Reino Unido apenas para dois; ii) contribuição das famílias positivas para maioria dos casos (ALE 3 insumos, RU 4 insumos e EUA 5 insumos); iii) efeito nível positivo para todos os insumos e países, menos os insumos Eletricidade e Outros na Alemanha, e para Petróleo e Gás, Renováveis, Eletricidade e Outros, o efeito nível foi maior que o efeito *mix* em todos os países; iv) contribuição tecnológica positiva para poucos casos (Renováveis, Eletricidade e Outros na Alemanha, Outros no Reino Unido e Renováveis nos Estados Unidos), e principal parcela para maioria dos casos; v) PIE positiva para três insumos na Alemanha, dois no Reino Unido e Estados Unidos, tal que PIE é maior que PINE em pelo menos quatro insumos de todos os países.

Olhando os resultados em valores (anexos IV a VI), nota-se que, assim como apontado pela IEA (2008), o petróleo é o insumo mais usado em todos os países; entretanto, o carvão que, segundo o estudo, é uma fonte que tem diminuído nos países emergentes apresentou variações positivas no período para Brasil e China. Porém, deve-se ressaltar novamente que o uso energético dos insumos analisados neste trabalho é o chamado *end-use* ou uso final, que não considera o uso nas transformações, que pode alterar esta visão mais global.

A partir dos resultados então é possível extrair algumas conclusões que concernem às hipóteses levantadas nas seções 2.2 (Demanda e Energia) e 2.3 (Energia, Desenvolvimento e Progresso Técnico), tais como: i) o efeito renda parece se mostrar mais importante que o efeito preço no caso das famílias; ii) os setores que são mais demandados na economia, em geral também são aqueles que fazem mais uso de energia; iii) há similaridades entre o modo como as mudanças estruturais afetam o uso de energia em países emergentes e desenvolvidos, o que pode ser fruto do processo de industrialização tardia dos primeiros, que tiveram a montagem de suas estruturas produtivas baseadas em investimentos externos e deslocamento das firmas em busca de redução de custos; iv) para alguns casos, principalmente nos países desenvolvidos, isto é, com estruturas produtivas consolidadas, as mudanças nessas estruturas se mostraram mais importantes que o consumo das famílias para explicar a variação no uso dos insumos energéticos.

Em termos de política econômica para o Brasil tem-se que: i) os setores tidos como principais fornecedores da economia são os setores que fazem maior uso de energia, o que os tornam setores de interesse, assim pode-se estimular, por exemplo via tributos e/ou isenções fiscais, o investimento em P&D a fim de que estes busquem estruturas produtivas menos energointensivas ou mais energoeficientes; ii) em termos de demanda das famílias, é necessário a conscientização via educação, para que o efeito alocação possa ser superior ao efeito nível, ou seja, apesar de o aumento de renda das famílias contribuir para o aumento do uso de energia via bens duráveis demandados, esses bens consumidos sejam aqueles que possuam maior eficiência energética e tenham em seu processo produtivo menor uso de energia.

Cabe destacar que o Brasil já possui algumas políticas para conscientização do uso de energia, como a rotulagem dos eletrodomésticos graduando-os de acordo com seu consumo de energia, além disso, carros e outros bens de consumos também possuem tal rotulagem. Como ampliação desta política seria interessante abranger não somente o consumo final, mas também o consumo na sua produção e se possível quais fontes foram demandas pela indústria, o que poderia resultar numa pressão da sociedade por insumos mais limpos e eficientes.

É interessante ressaltar que a Análise de Decomposição Estrutural realizada, combinação entre a ADE apresentada por Miller e Blair (2009) e Lin e Polenske (1995), corrigindo a questão da demanda final como levantado por Dietzenbacher e Stage (2006), é apenas uma das possíveis decomposições. Para se entender melhor cada um dos resultados de cada país, são necessários estudos específicos e mais detalhados, tal que o tema não está esgotado. Assim é possível realizar estudos para países individualmente, utilizar outras amostras de países, ou diferentes períodos de tempo.

REFERÊNCIAS

- AL-IRIANI, M. Energy-GDP relationship revisited: an example from GCC countries using panel data. **Energy Policy**, v. 34, p. 3342-3350, 2006.
- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. "Key" sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case. **Energy Economics**, n. 31, p. 1676-1678, 2003.
- ANG, B. W. Multilevel decomposition of industrial energy consumption. **Energy Economics**, v. 17, n. 1, p. 39-51, 1995.
- BARNES, D. F.; FLOOR, W. M. Rural Energy in Development Countries: a challenge for economic development. **Ann. Rev. Energy Environ.**, v. 21, p. 497-530, 1996
- BHATTACHARYYA, S. C. **Energy Economics: concepts, issues, markets and governance**. London: Springer, 2011
- BERNDT, E. R. Energy Use, Technical Progress and Productivity Growth: A survey of Economic Issues. **Journal of Productivity Analysis**, v. 2, n.1, p. 67-83, 1990.
- BRÖCKER, J.; RIETVELD, P. Infrastructure and Regional Development. In: CAPELLO, R.; NIJKAMP, P. **Handbook of regional growth and development theories**. Northampton: Edward Elgar, 2009.
- BULLARD, C. W.; HERENDEEN, R. A. Energy impact of consumption decisions. **Proceeding of the IEEE**, v. 63, n.3 p. 484-493, 1975.
- CARLEY, S.; LAWRENCE, S.; BROWN, A.; NOURAFSHAN, A.; BENAMI, E. Energy-based economic development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p.282-295, 2011.
- CHRISTENSEN, P. History of Energy in Economics. In: CLEVELAND, C.J. (org.) **Encyclopedia of Energy**. Oxford: Elsevier, 2004.
- CHONTANAWAT, J.; HUNT, L. C.; PIERSE, R. Does energy consumption cause economic growth? Evidence from a systematic study of over 100 countries. **Journal of Policy Modeling**, v. 30, p. 209-220, 2008.
- COHEN, C. Padrões de consumo, energia e meio ambiente. **Texto para Discussão n. 185 IE/UFF**. Niterói, 2005.
- DAHL, C. A. **International Energy Markets: understanding pricing and profits**. Tulsa: PennWell, 2004.
- DARMSTADTER, J.; DUNKERLEY, J.; ALTERMAN, J. **How Industrial Societies Use Energy: a comparative analysis**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1977.
- DIETZENBACHER, E.; STAGE, J. Mixing oil and water? Using hybrid input-output tables in Structural decomposition analysis. **Economics Systems Research**, v. 18, n. 1, p. 85-95, 2006.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. Disponível em: <<http://www.eia.gov>>. Acesso em: 06 de abril de 2011.

FILHO, B. P.; MOTA, J. A.; CARVALHO, J.C.J.; PINHEIRO, M.M.S. Impactos Fiscais da Crise de Energis Elétrica: 2001 e 2002. **Textp para Discussão IPEA n.816**. Rio de Janeiro, 2001.

FRANCIS, B. M.; MOSELEY, L.; IYARE, S. O. Energy consumption and projected growth in selected Caribbean countries. **Energy Economics**, v. 29, p. 1224-1232, 2007.

FOUQUET, R. A brief history of energy. In: EVANS, J.; HUNT, L.C. **International Handbook on the Economics of Energy**. Northampton: Edward Elgar, 2009.

_____. The sustainability of ‘sustainable’ energy use: historical evidence on the relationship between economic growth and renewable energy. **BC3 Working paper**, 2010.

GLASURE, Y. U.; LEE, A-R. Cointegration, error-correction and the relationship between GDP and energy: The case of South Korea and Singapore. **Resources and energy Economics**, v. 20, p. 17-25, 1997.

GOLDEMBERG, J. Development and Energy, Overview. In: CLEVELAND, C.J. (org.) **Encyclopedia of Energy**. Oxford: Elsevier, 2004.

GUILHOTO, J. J. M. **Análise de Insumo-Produto: teorias e fundamentos**. Mimeo, 2009.

HAWDON, D.; PEARSON, P. Input-output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. **Energy Economics**, v.17, n. 1, p. 73-86, 1995.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e Efeitos Econômicos do Controle de Emissões de CO₂ Decorrentes do Uso de Gás Natural, Álcool e Derivados do Petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo produto**. Tese de Doutorado. ESALQ/USP: Piracicaba, 2004.

HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, v. 16, p. 49-99, 2006.

HO, C-Y.; SIU, K. W. A dynamic equilibrium of electricity consumption and GDP in Hong Kong: an empirical investigation. **Energy Policy**, v. 35, p. 2507-2513, 2007.

HUANG, B-N.; HWANG, M.J.; YANG, C.W. Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach. **Ecological Economics**, v. 67, p. 41-54, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Worldwide Trends In Energy Use And Efficiency: Key Insights From IEA Indicator Analysis**, 2008.

_____. **Energy Prices and Taxes: Quarterly Statistics. 4th quarter 2010**.

_____. **Energy Balance of non-OECD countries 1995**. Paris: IEA, 1997.

_____. **Energy Balance of non-OECD countries 2000-2001**. Paris: IEA, 2003.

_____. **Energy Balance of non-OECD countries 2005**. Paris: IEA, 2007.

_____. **Energy Balance of non-OECD Database**. Disponível em <http://www.oecd-ilibrary.org/economics/data/oecd-stat_data-00285-en>. Acesso em 10 de maio de 2011.

JORGENSON, D. W.; WILCOXEN, P. J. Energy, The Environment and Economics Growth. In: NIJKAMP, P. (org.) **Handbook of Regional and Urban Economics Volume 1**. New York: North Holland, 1986.

JORGENSON, D. W. The role of energy in productivity growth. **American Economic Review**, v. 74, n. 2, p. 26-30, 1984.

KAGAWA, S.; INAMURA, I. A Spatial Structural Decomposition Analysis of Chinese and Japanese Energy Demand: 1985-1990, **Economic Systems Research**, v. 16, n. 3, p. 279-299, 2004.

KAGAWA, S.; INAMURA, I. A Structural Decomposition of Energy Consumption Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework: Japan's Case, **Economic Systems Research**, v. 13, n. 4, p. 339-363, 2001.

LEE, C-C. Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analyses. **Energy Economics**, v. 27, p. 415-427, 2005.

LENZEN, M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. **Energy Policy**, v.26, p.495-506, 1998.

LEONTIEF, W.. Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States. **Review of Economics and Statistics**, v. 18, p.105-125, 1936.

LIN, X.; POLENSKE, K. R. Input-Output Anatomy of China's Energy Use Changes in the 1980s. **Economic Systems Research**, v. 7, n. 1, p. 67-84, 1995.

MACHADO, G.; SCHAEFFER, R.; WORREL, E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. **Ecological Economics**, v.39, p.409-424, 2001.

MADLENER, R. The economics of energy in developing countries. In: EVANS, J.; HUNT, L.C. **International Handbook on the Economics of Energy**. Northampton: Edward Elgar, 2009.

MANKIW, G. **Principles of Economics 5th Edition**. Mason: South-Western College Pub, 2008.

MATTOS, L. B.; LIMA, J. E. Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais 1970-2002. **Nova Economia**, v. 15, n. 3, p. 31-52, 2005.

MATTOS, R. S.; PEROBELLI, F. S.; HADDAD, E. A.; FARIA, W. R. Integração de modelos econométricos e de insumo-produto para previsões de longo prazo da demanda de energia no Brasil. **Estudos Econômicos**, v.38, p. 675-699, 2008.

MASCOLLEL, A; WHINSTON, M.D.; GREEN, J.R. **Microeconomic Theory**. New York: Oxford University Press, 1995.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions 2nd Edition**. New York: Cambridge University Press, 2009.

MIZUHO RESEARCH INSTITUTE – MRI. Comparative Analysis of the BRICs, 2006. Disponível em: <<http://www.esri.go.jp>>

MUKHOPADHYAY, K.; CHAKRABORTY, D. India's Energy Consumption Changes during 1973/74 to 1991/92. **Economic Systems Research**, v. 11, n. 4, p. 423-438, 1999.

NARAYAN, P. K.; SMYTH, R. Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidence from panel cointegration with structural breaks. **Energy Economics**, v. 30, p.2331-2341, 2008.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OCDE. Disponível em: <<http://www.oecd.org>>. Acesso em: 06 de abril de 2011

_____. **Matrizes de Insumo-Produto**. Disponível em: <<http://www.oecd.org>>. Acesso em: 06 de abril de 2011

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

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

O'NEILL, J. Building Better Global Economic BRICs. **Global Economic Paper n.66**. 2001.

PEET, J. Economic Systems and Energy, Conceptual Overview. In: CLEVELAND, C.J. (org.) **Encyclopedia of Energy**. Oxford: Elsevier, 2004.

PEROBELLI, F. S.; MATTOS, R. S.; FARIA, W. R. . Interações Energéticas entre o Estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter-regional de insumo-produto. **Revista de Economia Aplicada**, v. 11, p. 113-130, 2007.

PROOPS, J. H. L.; GAY, P. W.; SPECK, S.; SCHRÖDER, T. The lifetime pollution implication of various types of electricity generation: An input-output analysis. **Energy Policy**, v. 24, p. 229-237, 1996.

ROMER, D. **Advanced Macroeconomics**. MacGraw-Hill, 1996.

ROSENBERG, N. The role of electricity I industrial development. **Energy Journal**, v.19, n. 2, p. 7-24, 1998.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A .M. A demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

SCHURR, S. H. Energy Use, Technological Change and Productivity Efficiency: Na economic historical interpretation. **Ann. Rev. Energy**, v. 9, p. 409-425, 1984.

SOLOMON, B. D. Economic Geography of Energy. In: CLEVELAND, C.J. (org.) **Encyclopedia of Energy**. Oxford: Elsevier, 2004.

STERN, D. I. In: Economic Growth and Energy. CLEVELAND, C.J. (org.) **Encyclopedia of Energy**. Oxford: Elsevier, 2004.

SOYTAS, U.; SARI, R. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. **Energy Economics**, v. 25, p. 33-37, 2003.

TOMAN, M. A.; JEMELKOVA, B. Energy and Economic Development: An Assessment of the state of knowledge. **The Energy Journal**, v. 24, n. 4, p. 93-112, 2003.

TOMALSQUIM, M .T. Modes d'adaptation aux choqs pétroliers: Brésil, France et Japon. **Revue de l'Énergie**, v. 433, p. 626-642, 1991.

_____.As origens da crise energética brasileira. **Ambiente e Sociedade**, n.6-7, pp. 179-183, 2000.

UNITED NATIONS – UN. Disponível em: <<http://www.un.org>> Acesso em: 01 de junho de 2011.

US CONGRESS – OFFICE OF TECHLONOGY ASSESSMENT – OTA. **Energy in Developing Countries, OTA-E-486**. Washington, DC: Government Printing Office, 1991.

_____. **Fueling Development: Energy Technologies for Developing Countries, OTA-E-516**. Washington, DC: Government Printing Office, 1992.

VARIAN, H. **Microeconomia: Princípios básicos**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

WOLDE-RUFAEL, Y. Energy consumption and economic growth: The experience of African countries revisited. **Energy Economics**, v. 31, p. 217-224, 2009.

ANEXOS

Anexo I – Setores da Matriz Insumo Produto

-
- 1 Agricultura, caça, silvicultura e pesca
 - 2 Indústria extrativa (energia)
 - 3 Indústria extrativa (não energética)
 - 4 Produtos alimentícios, bebidas e tabaco
 - 5 Têxteis, produtos têxteis, couro e calçados
 - 6 Madeira e produtos da madeira e da cortiça
 - 7 Celulose, papel, produtos de papel, impressão e publicação
 - 8 Coque, produtos petrolíferos refinados e combustível nuclear
 - 9 Produtos químicos excluindo produtos farmacêuticos
 - 10 Farmacêutico
 - 11 Borracha e produtos plásticos
 - 12 Outros produtos minerais não metálicos
 - 13 Ferro e aço
 - 14 Metais não ferrosos
 - 15 Produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos
 - 16 Máquinas e equipamentos, Nec
 - 17 Material de escritório, contabilidade e de informática
 - 18 Maquinas e aparelhos elétricos, Nec
 - 19 Equipamentos de rádio, televisão e comunicação
 - 20 Instrumentos médicos, de precisão e ópticos
 - 21 Veículos automóveis, reboques e semirreboques
 - 22 Construção e reparação de navios e barcos
 - 23 Aeronaves e veículos espaciais
 - 24 Equipamentos ferroviários e de transporte
 - 25 Indústrias transformadoras, nec, reciclagem (incluindo mobiliário)
 - 26 Produção, transporte e distribuição de eletricidade
 - 27 Produção de gás, distribuição de combustíveis gasosos por condutos
 - 28 Fornecimento de vapor e água quente
 - 29 Captação, tratamento e distribuição de água
 - 30 Construção
 - 31 Comércio; reparos
 - 32 Hotéis e restaurantes
 - 33 Transportes terrestres, transportes por oleodutos ou gasodutos
 - 34 Transporte aquaviário
 - 35 Transporte aéreo
 - 36 Atividades de apoio e auxílio aos transportes; Agências de viagens
 - 37 Correios e telecomunicações
 - 38 Finanças e seguros
 - 39 Atividades imobiliárias
 - 40 Locação de máquinas e equipamentos
 - 41 Atividades de informática e relacionadas
 - 42 Pesquisa e Desenvolvimento
 - 43 Outras atividades de empresa
 - 44 Administração pública e defesa; Segurança social obrigatória
 - 45 Educação
 - 46 Saúde e trabalho social
 - 47 Outros serviços coletivos, sociais e pessoais
 - 48 Famílias com empregados; Órgãos e organizações extraterritoriais
-

Anexo II – Compatibilização do Balanço Energético com ISIC

Setor	ISIC Rev. 3
Uso Próprio / Setor Energético	Divisão 10, 11, 12, 23, 40
Aço e Ferro	Grupo 271 e Classe 2731
Químico e Petroquímico	Divisão 24
Metais Não Ferrosos	Grupo 272 e Classe 2732
Minerais Não Metálicos	Divisão 26
Equipamentos de Transporte	Divisão 34 e 35
Máquinas	Divisão 28 a 32
Mineração (menos combustíveis) e	
Pelotização	Divisão 13 e 14
Alimento e tabaco	Divisão 15 e 16
Papel, celulose e impressão	Divisão 21 e 22
Madeira e produtos da madeira	Divisão 20
Construção	Divisão 45
Têxteis e couro	Divisão 17 a 19
Não especificados	Divisão 25, 33, 36 e 37
Transportes	Divisão 60 a 62
	Divisão 41; 50 a 52; 55; 63 a 67; 70 a 75; 80; 85; 90 a 93; 95 e 99
Comercial e Serviços Públicos	
Agricultura	Divisão 01 e 02
Pescaria	Divisão 05

Fonte: IEA (2007)

Anexo III – Setores do ISIC

A	Agricultura, caça e silvicultura
B	Pesca
C	Mineração e Extração
10	Mineração de carvão e lignite; extração de turfa
11	Extração de petróleo cru e gás natural; atividades de serviços relativos à extração de petróleo e gás excluindo a busca
12	Mineração de urânio e minérios de tório
13	Mineração de minério de metal
14	Outras minerações e extração
D	Manufatura
15	Manufatura de alimentos e bebidas
16	Manufatura de produtos do tabaco
17	Manufatura de têxteis
18	Manufatura de vestuário
19	Couros, bagagens e sapatos
20	Manufatura de madeira e produtos da madeira exceto móveis
21	Manufatura de papéis e produtos do papel
22	Edição, impressão e reprodução de gravações
23	Manufatura de coque, produtos refinados de petróleo e combustível nuclear
24	Manufatura de produtos químicos
25	Manufatura de borracha e produtos de plásticos
26	Manufatura de outros minerais não metálicos
27	Manufatura de metais básicos
28	Manufatura de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos
29	Manufatura de máquinas e equipamentos
30	Manufatura de máquinas para escritório e de computação
31	Manufatura de máquinas e equipamentos elétricos
32	Manufatura de rádio, televisão e equipamentos de telecomunicação
33	Manufatura instrumentos médicos e precisão ótica e relógios
34	Manufatura de automóveis
35	Manufatura de outros equipamentos de transporte
36	Manufatura móveis
37	Reciclagem
E	Eletricidade, gás e água
40	Eletricidade, gás, vapor e fornecimento de água quente
41	Coleta, purificação e distribuição de água
F	Construção
G	Comércio atacado e varejo
H	Hoteis e restaurantes
I	Transportes, armazenagem e comunicação
J	Intermediação financeira
K	Imobiliárias, alugueres e atividades empresariais
L	Administração Pública e defesa
M	Educação
N	Saúde e serviço social
O	Outros serviços comunitários
P	Famílias com empregados domésticos
Q	Organizações extra-territoriais

Fonte: UN (2011)

Anexo IV – Variação do Produto e Contribuições Agregadas

	País	ΔX	ΔFAM	Ef. Nível	Ef. Mix	ΔTEC	PIE	PINE
Carvão	BRA	1200	763	2037	-1274	437	550	-113
	CHN	16710	214324	324908	-110585	-197613	-122708	-74906
	IND	-5104	22375	35740	-13365	-27479	-32848	5369
	ALE	-5288	-270	1226	-1496	-5018	-3990	-1028
	RU	-4134	-438	496	-934	-3697	-2177	-1519
	EUA	2809	6414	13919	-7505	-3605	3295	-6900
Petróleo e Gás	BRA	20877	19888	34068	-14180	989	-18292	19282
	CHN	140618	141965	194564	-52599	-1347	-36787	35440
	IND	31476	45469	65256	-19787	-13994	-20687	6693
	ALE	-27987	11843	27807	-15965	-39830	-51590	11760
	RU	-2159	27953	49447	-21493	-30113	-26945	-3168
	EUA	-25328	292760	544597	-251837	-318088	-307716	-10372
Renováveis	BRA	13497	10078	19440	-9361	3419	343	3075
	CHN	-2201	-3576	5320	-8896	1374	882	493
	IND	16596	27827	54911	-27084	-11232	-17885	6653
	ALE	5896	4101	4170	-69	1795	1318	477
	RU	-180	131	245	-114	-311	-272	-38
	EUA	28167	9555	17097	-7541	18611	34797	-16186
Eletricidade	BRA	9493	5161	10442	-5281	4332	4256	76
	CHN	109611	88165	122060	-33895	21446	18403	3043
	IND	14742	17191	26745	-9555	-2449	-7328	4879
	ALE	4636	4500	8922	-4422	136	1245	-1110
	RU	3156	4883	9587	-4704	-1728	191	-1919
	EUA	39263	100172	157483	-57312	-60908	-42034	-18874
Outros	BRA	0	0	0	0	0	0	0
	CHN	27303	29485	38876	-9391	-2181	-8470	6289
	IND	0	0	0	0	0	0	0
	ALE	19759	-4342	-2781	-1561	24101	22783	1318
	RU	1350	187	306	-120	1163	1303	-140
	EUA	-3331	2316	4035	-1718	-5647	-5093	-554

Fonte: Elaboração Própria com base nos resultados da pesquisa.

Obs.: As somas podem ser exatas devido a arredondamentos.

Anexo V – Contribuições Setoriais da Parcela de Insumos Energéticos

	País	S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8	S. 9	S. 10	S. 11	S. 12	S. 13	S. 14
Carvão	BRA	1163	-75	83	-279	121	26	-60	-4	53	-253	1	17	1	-244
	CHN	-38326	-61776	0	103093	-1705	-17489	-13932	-12571	-41159	-17420	-2812	-3521	-19002	3910
	IND	-2769	-3754	27	-5598	-16	157	-912	-987	-8736	-1454	-3390	95	-4766	-743
	ALE	-1710	-1221	0	-252	222	-8	-121	-15	-53	-146	-505	-50	-27	-104
	RU	-326	-535	0	87	-2	-201	-57	61	-395	-64	-305	19	-159	-301
	EUA	-7709	666	-52	-2065	-6	492	3480	483	6841	-286	-33	520	-497	1461
Petróleo e Gás	BRA	1200	133	1484	2100	-244	549	-10	-58	166	-26298	-153	1211	-9	1636
	CHN	-9979	-13957	0	29198	478	-1259	-1515	-843	354	-46331	6482	1579	-2042	1048
	IND	-242	-3053	-85	-688	-451	4285	-29	-413	-504	-26922	-109	2606	-176	5094
	ALE	-700	-19958	0	1213	121	74	271	138	-1538	-25879	-4214	-3	-644	-471
	RU	-496	-10128	0	-151	-287	296	-44	957	-313	-11752	-1178	-5	-4884	1041
	EUA	-5180	-110913	-10958	-1707	-249	-1904	5540	2620	8676	-135713	-47383	1550	871	-12965
Renováveis	BRA	1775	-128	-90	1140	-12	5142	818	-28	60	-7796	-35	670	98	-1271
	CHN	-21	-35	0	61	0	-8	-7	-4	-16	-25	3	-1	928	6
	IND	-24	-109	-2	-54	-13	121	-6	-18	-14703	-692	-2573	74	-25	138
	ALE	-3	-16	0	1	1	1	-63	0	-64	1366	7	0	0	90
	RU	0	-1	0	0	0	0	0	0	-388	68	-25	42	32	0
	EUA	-11	610	-18	384	-3	915	26714	58	322	4987	606	230	9	-6
Eletricidade	BRA	336	-86	864	354	-185	660	80	40	866	-693	1099	737	2	182
	CHN	-4853	-11609	0	28234	2563	-1710	-1883	1237	-306	-4598	3935	-382	1113	6661
	IND	-42	-192	-4	-95	-23	214	-11	-31	-4662	-1557	-25	-1503	-241	845
	ALE	-63	-582	0	280	95	350	607	27	635	-1197	481	103	-17	528
	RU	-92	410	0	102	-5	273	480	407	-42	-367	-1620	288	-95	452
	EUA	-832	-7465	-8782	-528	-2723	428	974	1418	-8859	-2835	-22047	43	9942	-766
Outros	BRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHN	-3131	-5035	0	2741	-299	-443	-653	220	-2053	-1094	790	-64	-1102	1653
	IND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALE	-22	-452	0	-26	-7	-99	-58	1	6571	-119	-18	0	17174	-161
	RU	-1	483	0	0	0	0	79	1	392	-6	310	0	-2	47
	EUA	-131	-2395	-39	-17	-4	-261	-607	-89	-270	-194	-2349	3	14	1246

Fonte: Elaboração Própria com base nos resultados da pesquisa.

Obs.: As somas podem ser exatas devido a arredondamentos.

Anexo VI – Contribuições Setoriais da Parcela de Insumos Não-Energéticos

	País	S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8	S. 9	S. 10	S. 11	S. 12	S. 13	S. 14
Carvão	BRA	-1726	21	-11	-9	-27	2	-82	-49	1466	-97	-313	131	347	234
	CHN	-1984	-3848	0	-35336	2549	78	1364	9107	-56130	1901	-4376	-1779	-19645	33193
	IND	-2199	-13	-163	391	-17	220	113	703	5962	157	-1610	481	-69	1414
	ALE	31	-52	0	110	12	-18	10	10	11	47	-116	-14	-1178	120
	RU	-193	-27	0	-40	0	-66	-25	2	-946	-7	-103	1	-83	-30
	EUA	-113	-276	-391	-154	75	-271	-334	-61	1976	-480	-1490	-209	-4818	-356
Petróleo e Gás	BRA	-325	181	-735	-483	68	1521	-396	-244	4658	1737	-910	1405	9107	3698
	CHN	-869	-1313	0	-10615	2945	2065	1104	7474	7166	4525	-245	724	-2266	24744
	IND	-722	-40	33	-142	-18	476	50	588	4102	763	-1087	858	552	1280
	ALE	725	268	0	898	32	637	330	66	4686	2924	8260	-166	-9083	2184
	RU	92	-2	0	-22	-77	-902	-42	368	-3853	1858	210	93	-425	-468
	EUA	4320	-4612	-9003	49	2577	4081	6370	473	47947	10859	-11063	-4379	-63518	5526
Renováveis	BRA	-2305	-62	1	-422	-44	369	-627	-64	2493	221	-2295	932	3570	1309
	CHN	-33	-7	0	-39	27	26	6	76	138	30	60	11	-21	219
	IND	-586	-22	-4	82	-22	329	67	743	6137	-39	-1723	476	-253	1469
	ALE	19	12	0	16	2	26	8	1	118	90	284	-5	-151	58
	RU	1	-1	0	0	0	-32	0	2	-6	3	-3	-4	3	-3
	EUA	50	-432	-304	-101	81	-311	-1140	42	1545	-679	-2245	-302	-12036	-355
Eletricidade	BRA	-559	-19	-976	-12	-55	180	-343	-172	1364	-121	-1635	531	1191	704
	CHN	-1196	-1888	0	-9195	1385	596	670	4939	-3202	1192	-570	-397	-4453	15163
	IND	-434	-72	-1	40	-14	173	56	510	4076	-62	-1181	741	22	1023
	ALE	153	-71	0	297	-15	-35	49	21	1970	190	-201	-12	-3814	360
	RU	-1	-3	0	-59	-11	-438	-105	64	-1190	66	-293	-27	226	-149
	EUA	-39	-915	-2025	-211	349	-77	-237	-711	9819	-1837	-4721	-987	-16949	-334
Outros	BRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHN	-98	-502	0	-1459	425	266	264	1569	2236	283	228	-85	-330	3490
	IND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALE	93	42	0	141	-27	86	124	13	2135	229	-32	40	-1792	267
	RU	6	-8	0	-3	-1	-21	-14	5	-75	-2	-24	-5	16	-14
	EUA	-1	-33	-46	-8	6	-1	-25	-23	186	-23	-94	-27	-455	-11

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Obs.: As somas podem não ser exatas devido a arredondamentos.