

**Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Fluminense**  
**Programa de Pós-graduação em Sistemas Aplicados à  
Engenharia e Gestão**

**ANÁLISE DO DESACOPLAMENTO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE  
CARBONO E DA EXPANSÃO ECONÔMICA DO BRASIL NAS ÚLTIMAS  
DÉCADAS**

**ANDRÉ GOMES DE LIMA**

**2019**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense  
Programa de Pós-graduação em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão**

**ANÁLISE DO DESACOPLAMENTO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE  
CARBONO E DA EXPANSÃO ECONÔMICA DO BRASIL NAS ÚLTIMAS  
DÉCADAS**

**ANDRÉ GOMES DE LIMA**

**João José de Assis Rangel**  
(Orientador)

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** no Programa de Pós-graduação em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Área de Concentração em Sistemas Computacionais.

Campos dos Goytacazes, RJ  
Fevereiro de 2019

Biblioteca Anton Dakitsch  
CIP - Catalogação na Publicação

L732a Lima, André Gomes de  
Análise do desacoplamento das emissões de dióxido de carbono e da  
expansão econômica do Brasil nas últimas décadas / André Gomes de  
Lima - 2019.  
57 f.: il.

Orientador: João José de Assis Rangel

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado  
Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Campos dos  
Goytacazes, RJ, 2019.  
Referências: f. 37 a 42.

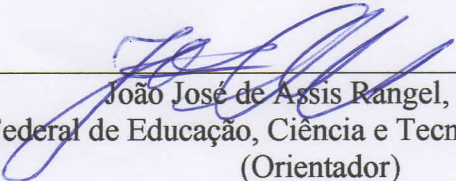
1. Método OCDE. 2. Método de Tapio. 3. Identidade de Kaya. 4.  
Desacoplamento. 5. Emissões de CO2. I. Rangel, João José de Assis ,  
orient. II. Título.

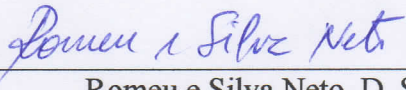
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense**  
**Programa de Pós-graduação em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão**

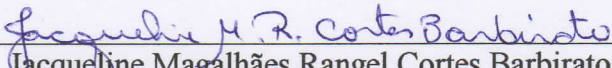
**ANDRÉ GOMES DE LIMA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** no Programa de Pós-graduação em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Área de Concentração em Sistemas Computacionais.

APRESENTADO EM 26/02/2019

  
\_\_\_\_\_  
João José de Assis Rangel, D. Sc.  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - IFF  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Romeu e Silva Neto, D. Sc.  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - IFF

  
\_\_\_\_\_  
Jacqueline Magalhães Rangel Cortes Barbirato, D. Sc.  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me abençoou com a possibilidade de cursar esse mestrado e a todo instante esteve ao meu lado me concedendo a sabedoria necessária para superar todos os obstáculos e colocando pessoas boas em meus caminhos para me auxiliar.

A minha família, que nos momentos mais difíceis me apoiaram e sempre acreditaram no meu potencial. Em caráter especial, ao meu irmão Caio, ao meu pai André e a minha mãe Kassilma. Sem vocês, eu não conseguiria alcançar mais essa etapa na minha vida.

Ao meu orientador João Rangel que a todo o momento me auxiliou e conduziu para que eu fosse capaz de atingir essa tão sonhada meta. Gostaria de agradecer também por todo conhecimento que me proporcionou a obter durante esse tempo em que trabalhamos juntos.

Aos meus amigos que sempre rezaram e torceram por mim. Muito obrigado por cada palavra de apoio e carinho.

## RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo avaliar o desacoplamento entre as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil comparativamente aos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico das Américas (OCDE-Américas: Canadá, Chile, México e USA). Sendo classificada como uma pesquisa aplicada, quantitativa, explicativa e descritiva. A motivação para esta pesquisa ocorreu a partir da percepção em relação ao interesse demonstrado pelo Brasil de se inserir no grupo de países da referida organização. Foram utilizados os métodos de desacoplamento da OCDE e Tapio para o estudo no período compreendido entre 1990 e 2016, assim como, a Identidade de Kaya para verificar os principais fatores relativos às emissões brasileiras e dos países selecionados. Os resultados mostraram que o Brasil alcançou, de acordo com as classificações de Tapio, o estado de desacoplamento negativo fraco, diferente dos países da OCDE-Américas que apresentaram o estado de desacoplamento fraco. Confirmando os primeiros resultados, a aplicação do método da OCDE também demonstrou que o Brasil obteve o pior resultado entre os países analisados, ou seja, o país foi o único que apresentou o estado de acoplamento enquanto os outros apresentaram o estado de desacoplamento relativo. Dentre todos os países, o Canadá e USA foram os que apresentaram o melhor perfil de desacoplamento. Já os resultados do método da Identidade de Kaya demonstraram que todos os países da OCDE-Américas conseguiram reduzir sua intensidade energética. Dentre eles USA e Canadá apresentaram os melhores resultados. O USA apresentou somente 1% de aumento das emissões de CO<sub>2</sub> nos vinte e seis anos e conseguiu melhorar sua intensidade energética, a intensidade carbônica e melhorar sua eficiência na relação energia requerida pela energia total final consumida. O Canadá destacou-se pelo fato de apresentar redução de dois indicadores. O Chile e o México conseguiram apenas reduzir sua intensidade energética. Já o Brasil obteve um elevado aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> em relação ao crescimento econômico, principalmente nos últimos anos. Além disso, não conseguiu reduzir nenhum dos seus indicadores de Kaya. Assim, mediante os resultados encontrados, fica demonstrada a necessidade de o Brasil realizar ajustes no suprimento de energia para poder alcançar o almejado desenvolvimento sustentável e manter a matriz energética limpa e renovável.

Palavras-Chave: Método OCDE, Método de Tapio, Identidade de Kaya, Desacoplamento, Emissões de CO<sub>2</sub>

## ABSTRACT

This thesis aims to evaluate the decoupling of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from Brazil's Gross Domestic Product (GDP) compared to the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development of the Americas (OECD-Americas: Canada, Chile, Mexico and the USA). Being classified as an applied, quantitative, explanatory and descriptive research. The motivation for this research came from the perception regarding the interest shown by Brazil to be included in the group of countries of the mentioned organization. The OECD and Tapio decoupling methods were used for the study between 1990 and 2016, as well as the Kaya Identity to verify the main factors related to the Brazilian emissions and the selected countries. The results showed that, according to the Tapio classifications, Brazil reached the weak negative decoupling state, different from the OECD-Americas countries that showed a weak decoupling state. Confirming the first results, the application of the OECD method also showed that Brazil obtained the worst result among the analyzed countries, that is, the country was the only one that presented the coupling state while the others presented the relative decoupling state. Among all countries, Canada and the USA presented the best decoupling profile. The results of the Kaya Identity method have shown that all OECD-Americas countries have been able to reduce their energy intensity. Among them USA and Canada presented the best results. The USA presented only 1% increase in CO<sub>2</sub> emissions in the last twenty-six years and was able to improve its energy intensity, carbon intensity and its efficiency in the ratio of Total Primary Energy Supply by the Total final energy consumption. Canada was noted for its reduction of two indicators. Chile and Mexico have only managed to reduce their energy intensity. Brazil has achieved a high increase in CO<sub>2</sub> emissions in relation to economic growth, especially in recent years. In addition, it failed to reduce any of its Kaya indicators. Thus, through the results found, it is demonstrated the need for Brazil to make adjustments in the energy supply in order to achieve the desired sustainable development and keep the energy matrix clean and renewable.

**Keywords:** OECD method, Tapio method, Kaya Identity, Decoupling, CO<sub>2</sub> emissions.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de GEE no Brasil por setor.....	4
Figura 2- Publicações com o tema "emissões de CO <sub>2</sub> " e principais periódicos aos quais estão indexados .....	4
Figura 3 - Diagrama de Venn.....	6
Figura 4 - Número de publicação com a interseção das três áreas de conhecimento .....	6
Figura 5 - Ilustração do desacoplamento diamante.....	16
Figura 6 - Evolução da Matriz energética Brasileira .....	18
Figura 7 – Matriz energética brasileira nos anos 1990 e 2016.....	19
Figura 8 – Comparação da matriz energética: Brasil e países da OCDE-Américas. Ano base 2016	19
Figura 9 – Evolução da Matriz elétrica do Brasil .....	20
Figura 10 - Matriz elétrica Brasileira - 1990 e 2016.....	20
Figura 11 - Método de Tapio; (a) OCDE, (b) OCDE-Américas, (c) USA, (d) Canadá, (e) Chile, (f) México, (g) Brasil .....	23
Figura 12 - Índice de desacoplamento dos países selecionados.....	25
Figura 13 - Identidade de Kaya do Brasil .....	27
Figura 14 - Identidade de Kaya do Canadá.....	28
Figura 15 - Identidade de Kaya do Chile .....	29
Figura 16 - Identidade de Kaya do México.....	30
Figura 17 - Identidade de Kaya dos USA .....	31
Figura 18 – Comparação do perfil de emissões - Brasil e países da OCDE-Américas .....	33



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Áreas de conhecimento e identificação dos seus tesouros .....	5
Quadro 2 - Explicação dos trabalhos encontrados nas áreas de conhecimento .....	5
Quadro 3 - Artigos encontrados na interseção das três áreas de conhecimentos .....	7
Quadro 4 - Produções científicas oriundas da dissertação .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estados do desacoplamento diamante.....	16
Tabela 2 – Método de Tápio aplicado no período de 1990-2016 .....	24
Tabela 3 - Comparação dos indicadores de Kaya entre os países selecionados .....	32

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo Geral .....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Justificativas .....	3
1.4. Questões de Pesquisa.....	7
1.5. Método de Pesquisa do Trabalho .....	8
1.6. Delimitações e Estrutura do Trabalho .....	8
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	9
2.1. Desacoplamento de Emissões de CO <sub>2</sub> e Crescimento Econômico.....	10
2.2. Métodos de Validação do Desacoplamento .....	11
2.3. Conclusão da Revisão da Literatura .....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	13
3.1. Descrição do Conjunto de Países Selecionados .....	13
3.2. IPAT e Identidade de Kaya .....	14
3.3. Método de Tapio .....	15
3.4. Método de Desacoplamento da OCDE .....	16
3.5. Perfil de Emissão de CO <sub>2</sub> .....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1. Matriz energética brasileira .....	17
4.2. Análise do desacoplamento por diferentes métodos .....	21
4.2.1. Análise de Tapio .....	21
4.2.2. Análise do método da OCDE.....	24
4.3. Análise Detalhada da Identidade de Kaya para os Países Selecionados .....	26
4.3.1. Brasil .....	26
4.3.2. Canadá.....	27
4.3.3. Chile.....	28
4.3.4. México .....	29
4.3.5. USA.....	30
4.3.6. Comparação da Identidade de Kaya para os países selecionados .....	31

4.4. Perfil das Emissões de CO <sub>2</sub> .....	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO .....	33
5.1. Conclusão .....	33
5.2. Limitações do Trabalho .....	35
5.3. Sugestões para Trabalhos Futuros .....	36
5.4. Produções Originadas neste Trabalho .....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
APÊNDICE A .....	43
APÊNDICE B .....	48
APÊNDICE C .....	55

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

Em maio de 2017, Representantes do Governo brasileiro enviaram uma carta à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) demonstrando interesse à participação como um país membro desta organização (FAZENDA, 2017). Para a adesão na OCDE uma série de medidas políticas deve ser adotada com o intuito de estabelecer maior proximidade com os países membros (OECD, 2007). A iniciativa do Brasil demonstra o anseio que o país possui em se integrar ao bloco de países mais desenvolvidos. Somado a isso, uma futura adesão pode proporcionar ao país novos meios para crescer economicamente. No entanto, em um cenário mundial onde existe a necessidade de redução das emissões de gases nocivos ao meio ambiente uma questão que se abre é: Qual a participação das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em relação à economia de um país? O Brasil tem conseguido desenvolver-se sem proporcionar um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>?

É bem conhecido pela literatura que todo crescimento econômico alcançado pelos diversos países ao longo da história, normalmente, foi acompanhado de um respectivo crescimento do consumo de energia e, conseqüentemente aumento das emissões de gases nocivos ao meio ambiente (DONG *et al.*, 2018; HENRIQUES; BOROWIECKI, 2017). Também, é amplamente reconhecido hoje que as emissões dos Gases de efeito estufa (GEE) podem estar provocando as principais mudanças climáticas (AZEVEDO; SARTORI; CAMPOS, 2018). Dentre os GEE o CO<sub>2</sub> representa a maior parcela, de aproximadamente 75% (HUAMAN; JUN, 2014). Esse alto valor proporcionou o reconhecimento das emissões de CO<sub>2</sub> como sendo os principais causadores dos problemas ambientais (WANG, 2013). Mediante essa problemática, a 21ª edição da Conferência das Partes sobre mudanças climáticas (COP21) em 2015, estabeleceu metas para limitar o aumento da temperatura global média em 1,5°C, sendo este o necessário para diminuir os riscos oriundos às mudanças climáticas (UNFCCC, 2015). Para que essa meta seja alcançada, os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> devem ser restritamente monitorados e reduzidos (MOUSAVI *et al.*, 2017; SUMABAT *et al.*, 2016). Ou seja, os países devem manter um padrão de crescimento econômico sem equivalência com as emissões de CO<sub>2</sub>.

Neste sentido, a análise do desacoplamento entre CO<sub>2</sub> e o Produto Interno Bruto (PIB) pode auxiliar os países a verificarem se sua economia está crescendo desassociada as emissões de CO<sub>2</sub> (DAI; ZHANG; HUANG, 2016). Esse conceito ganhou força nas últimas décadas a ponto de poder ser considerado um indicador para avaliar o processo de desenvolvimento sustentável (CHEN *et al.*, 2017). O termo desacoplamento foi empregado por Zhang (2000) quando verificou o crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> relacionado ao crescimento do PIB na China. Desde então, muitos

trabalhos focaram no estudo de desacoplamento em diversos países. De Freitas e Kaneko (2011) estudaram o desacoplamento referente às emissões de CO<sub>2</sub> e PIB no Brasil até o ano de 2009. Tapio (2005) desenvolveu uma metodologia de desacoplamento e aplicou relacionada ao volume de veículos e as emissões de CO<sub>2</sub>. Brizga; Feng e Hubacek (2013), mediante a utilização da *Environmental Knuts Curve* (EKC), verificaram o desacoplamento entre emissões de CO<sub>2</sub> e PIB nos países que compunham a antiga união soviética. LUO *et al.* (2017) estudaram o desacoplamento das emissões e da economia em relação ao setor de agricultura da China. Roinioti e Koroneos (2017) verificaram o desacoplamento entre energia e emissão de CO<sub>2</sub> nas atividades econômicas da Grécia.

Os Trabalhos na área de desacoplamento apontaram que os países mais desenvolvidos, em sua maioria, estão conseguindo atingir uma expansão econômica maior que o crescimento de suas emissões de CO<sub>2</sub> (JIANG; GUAN, 2017). Dentre esses países, alguns membros da OCDE obtiveram crescimento econômico sem o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. Nesse sentido, em 2015 a OCDE-Américas destacou-se por apresentar redução de 2,6% do seu CO<sub>2</sub>, o maior percentual de redução comparado às OCDE por Região (IEA, 2017a). Tal fato demonstra uma possibilidade de desacoplamento e cria certo otimismo em relação à viabilidade dos países atingirem metas de desenvolvimento com menor emissão de CO<sub>2</sub> e descarbonização de suas matrizes energéticas (IEA, 2017b). Sendo assim, para os países conseguirem tais reduções, a substituição da energia proveniente de combustíveis fósseis por fontes limpas e o avanço tecnológico são fundamentais (ANDREONI; GALMARINI, 2016; JIANG; GUAN, 2016).

No contexto das energias renováveis, o Brasil destaca-se pelo fato de possuir uma matriz energética relativamente mais limpa quando comparado aos demais países. Além disso, atualmente, o país tem apresentado um crescimento dos investimentos em fontes renováveis para geração de energia elétrica. Esses esforços colocou o país na posição de sétimo maior produtor de energia eólica do mundo, no ano de 2016 (IEA, 2018). A projeção é que medidas políticas e incentivos que estão sendo tomadas cresça ainda mais a geração da energia renovável. A meta é atingir, em 2026, 48% da matriz energética constituída por fonte renovável e 87% da geração de energia elétrica por essa mesma fonte (EPE; MME, 2017). No entanto, isso não significa que o país esteja conseguindo descarbonificar sua matriz energética de acordo com as metas estabelecidas. Mesmo com essas medidas, o país ainda continua apresentando um consumo muito elevado de combustíveis fósseis.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Assim, diante do que foi apresentado, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento das emissões de dióxido de carbono oriundas da queima de combustíveis fósseis em relação ao

crescimento energético e econômico do Brasil entre 1990 e 2016 e compará-las com os dos países da OCDE-Américas.

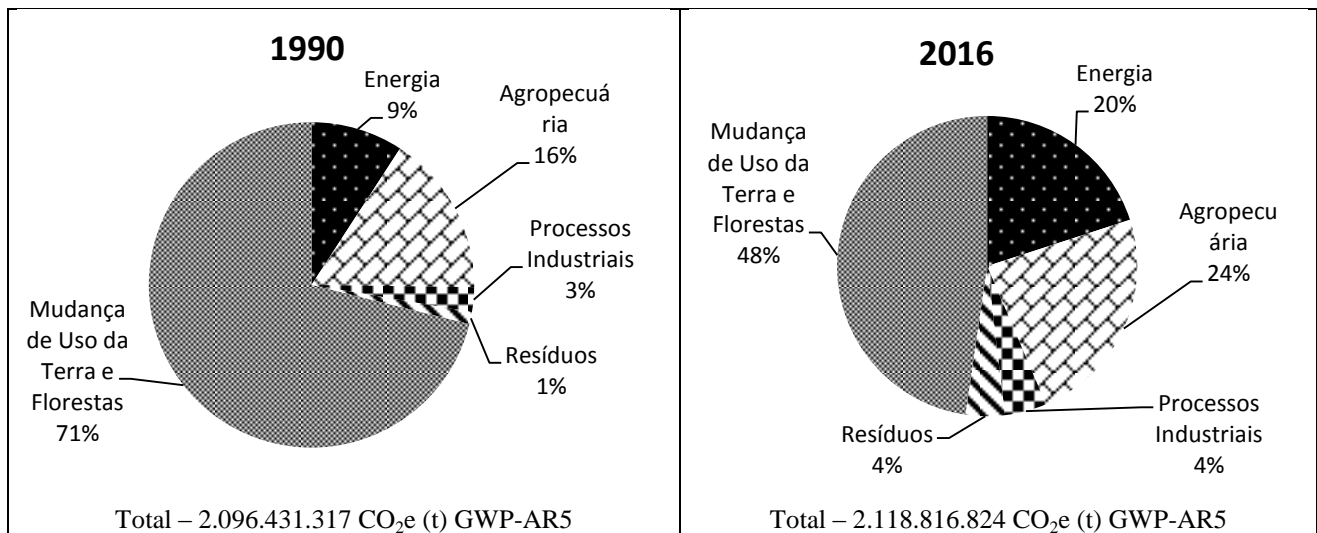
### 1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar as principais mudanças ocorridas no cenário energético brasileiro nas últimas décadas;
- Comparar a composição da matriz energética brasileira com a dos países da OCDE-Américas;
- Realizar o estudo de desacoplamento para verificar o padrão da expansão econômica em relação às emissões de CO<sub>2</sub> dos países selecionados;
- Identificar os principais fatores que afetaram as emissões de CO<sub>2</sub> nos países selecionados.

### 1.3. Justificativas

Problemas ambientais, em especial as mudanças climáticas, são temas constantes nas agendas de debates mundiais. As emissões de CO<sub>2</sub> apresentam-se como as principais causadoras desses problemas, por esse motivo, suas reduções demonstra ser o principal objetivo para um mundo ambientalmente sustentável (RÜSTEMOĞLU; ANDRÉS, 2016). Nesse cenário, verificar os principais responsáveis pelo aumento das emissões de CO<sub>2</sub> é um fator chave para conseguir atuar de forma eficiente afim e reduzi-las (DONG *et al.*, 2019). Dentre esses fatores, o monitoramento de indicadores econômicos, ambientais e energéticos apresenta-se como necessário.

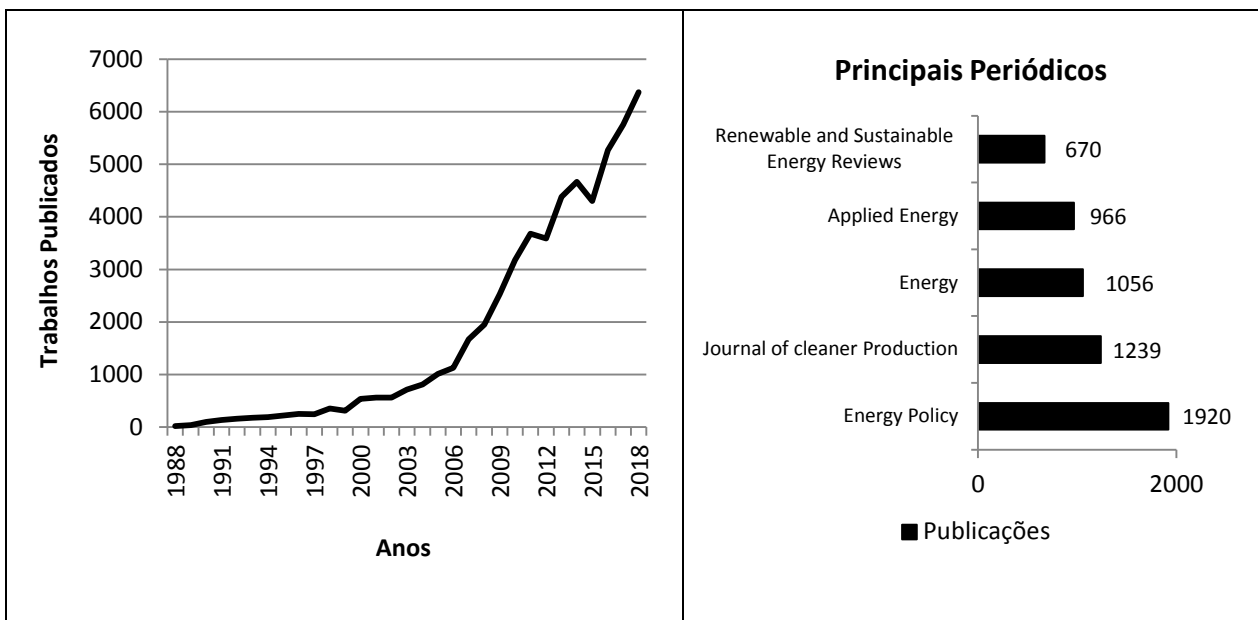
A Figura 1 apresenta as emissões das GEE brasileiras no ano de 1990 e no ano de 2016. Observe que o principal setor responsável pelas emissões desses gases foi a Mudança do Uso de Terra e Florestas. No entanto, percebe-se que o Brasil demonstrou êxito na redução das emissões por essa fonte. Analisando agora a evolução dos outros indicadores, veja que a energia apresentou o maior aumento na participação dentre todos os setores. Ela praticamente dobrou sua participação que em 1990 representava 9% já em 2016 esse valor aumentou para 20%. Esse fato demonstra que o cenário energético brasileiro necessita ser analisado para que o país possa apresentar um comportamento de redução das emissões por esse setor.



**Figura 1** - Emissões de GEE no Brasil por setor

Fonte: Elaboração Própria

Somado a isso, a Figura 2 demonstra a evolução cronológica dos trabalhos publicados no meio científico com o tema: emissão de CO<sub>2</sub>, segundo a base de dados *Scopus* e os principais periódicos aos quais eles estão indexados. Foi realizado um corte temporal a partir do ano de 1988, visto que a partir desse ano começou a ter uma ascensão significativa do número de publicações. Note que o número de trabalhos relacionados a esse tema apresenta um comportamento crescente ao longo das últimas décadas, tendo atingido o seu pico no ano de 2018, onde foram publicados 6368 trabalhos. Esse comportamento demonstra a relevância dessa área e que é uma problemática atual. Veja também que a *Energy Policy* foi o periódico que apresentou o maior número de trabalhos publicados, contendo 1920 trabalhos.



**Figura 2-** Publicações com o tema "emissões de CO<sub>2</sub>" e principais periódicos aos quais estão indexados

Fonte: Elaboração própria com dados do *Scopus*

Mediante essa quantidade elevada de trabalhos encontrados, foi realizada outra pesquisa na base *Scopus* para busca de artigos com as áreas de conhecimentos desejadas para o



desenvolvimento desta dissertação. O Quadro 1 descreve como foi realizada a busca na base de dados. Observe que a procura pelos trabalhos científicos foi dividida em três áreas de conhecimento sendo elas: emissões de CO<sub>2</sub>, desacoplamento em conjunto com o crescimento econômico e Identidade de Kaya. Elas foram identificadas respectivamente pelas letras A, B e C. Note que em cada área de conhecimento foram utilizadas os seus respectivos tesouros para ampliar o campo de busca. Os tesouros foram pesquisados nos títulos, resumo e palavra chave dos trabalhos, sendo pesquisados também, trabalhos nas intercessões entre as áreas de conhecimento. Mediante essas intercessões, será possível encontrar artigos que reúnam as três áreas de conhecimentos, sendo eles fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

O Quadro 2 apresenta uma breve explicação sobre quais tipos de artigos visam ser encontrados em cada área de conhecimento e nas suas intercessões.

**Quadro 1 - Áreas de conhecimento e identificação dos seus tesouros**

<b>Área de conhecimento e seus Tesouros</b>	<b>Identificação</b>
<i>TITLE-ABS-KEY (“CO<sub>2</sub> emission*” or “carbon dioxide emission*” or “carbon emission*”)</i>	A
<i>TITLE-ABS-KEY (“decoup*” and (GDP or “economic Growth”))</i>	B
<i>TITLE-ABS-KEY ( Kaya )</i>	C
<i>TITLE-ABS-KEY (“CO<sub>2</sub> emission*” or “carbon dioxide emission*” or “carbon emission*”) and TITLE-ABS-KEY (“decoup*” and (GDP or “economic Growth”))</i>	$A \cap B$
<i>TITLE-ABS-KEY (“CO<sub>2</sub> emission*” or “carbon dioxide emission*” or “carbon emission*”) and TITLE-ABS-KEY (“kaya”)</i>	$A \cap C$
<i>TITLE-ABS-KEY (“decoup*” and (GDP or “economic Growth”)) and TITLE-ABS-KEY ( kaya )</i>	$B \cap C$
<i>TITLE-ABS-KEY (“CO<sub>2</sub> emission*” or “carbon dioxide emission*” or “carbon emission*”) and TITLE-ABS-KEY (“decoup*” and (GDP or “economic Growth”)) and TITLE-ABS-KEY ( kaya )</i>	$A \cap B \cap C$

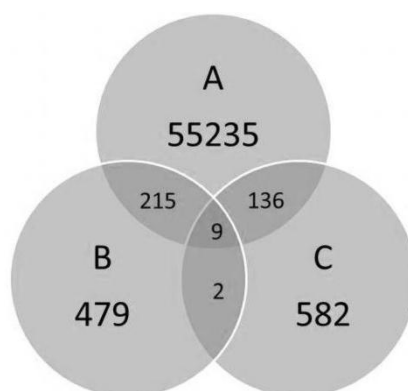
Fonte: Elaboração própria

**Quadro 2 - Explicação dos trabalhos encontrados nas áreas de conhecimento**

<b>Identificação</b>	<b>Explicação dos trabalhos encontrados nas áreas de conhecimento</b>
A	Trabalhos que avaliaram as emissões de CO <sub>2</sub> .
B	Trabalhos que avaliaram o desacoplamento e crescimento econômico.
C	Trabalhos que utilizaram Identidade de Kaya.
$A \cap B$	Trabalhos que verificaram as emissões de CO <sub>2</sub> e seu desacoplamento em relação ao crescimento econômico em um determinado local.
$A \cap C$	Trabalhos que utilizaram a Identidade de Kaya para verificar as emissões de dióxido de carbono de um determinado local.
$B \cap C$	Trabalhos que utilizaram a Identidade de Kaya e avaliaram o desacoplamento em algum local.
$A \cap B \cap C$	Trabalhos que utilizaram a Identidade de Kaya e verificaram o desacoplamento entre o crescimento econômico e as emissões de CO <sub>2</sub> em algum local ou setor.

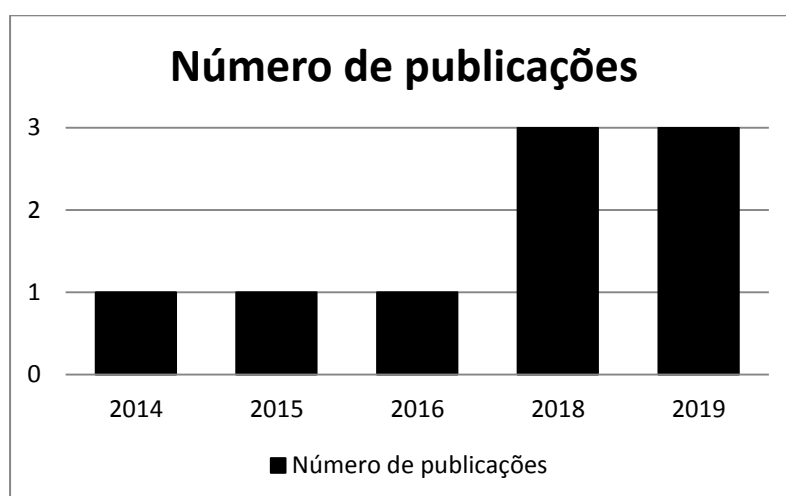
Fonte: Elaboração própria

Observe então que na Figura 3 demonstra a quantidade de trabalhos encontrados em cada área conhecimento. Note que a interseção das três áreas de conhecimentos retornou em nove trabalhos, ou seja, há poucos trabalhos na literatura que abrangem esse tema.



**Figura 3** - Diagrama de Venn  
**Fonte:** Elaboração própria

Além de poucos trabalhos encontrados veja também que a Figura 4 demonstra a distribuição dos trabalhos pelos anos de publicação. Perceba que as publicações nessa área de conhecimento são recentes e também, apresentaram um comportamento crescente com três artigos publicados já no ano de 2019.



**Figura 4** - Número de publicação com a interseção das três áreas de conhecimento  
**Fonte:** Elaboração própria

Com a intenção de proporcionar um arcabouço teórico sólido, veja também que o Quadro 3 apresenta os artigos encontrados, assim como os autores e os periódicos nos quais eles foram indexados. Veja então que o periódico que recebeu mais publicações com esse tema foi o *Journal of Cleaner Production* com duas publicações.

**Quadro 3** - Artigos encontrados na interseção das três áreas de conhecimentos

Periódicos	Artigos	Autores
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>An analysis of the decoupling relationship between CO<sub>2</sub> emission in power industry and GDP in China based on LMDI method</i>	Xie, P. Gao, S. Sun, F.
<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Decoupling analysis of carbon emission from construction land in Shanghai</i>	Li, Y.-N. Cai, M. Wu, K. Wei, J.
<i>Science of the Total Environment</i>	<i>Do commercial building sector-derived carbon emissions decouple from the economic growth in Tertiary Industry? A case study of four municipalities in China</i>	Ma, M. Cai, W.
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	<i>Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emissions from economic growth in Cameroon</i>	Engo, J.
<i>Applied Energy</i>	<i>Decomposition and decoupling analysis of CO<sub>2</sub> emissions in OECD</i>	Chen, J. Wang, P. Cui, L. Huang, S. Song, M.
Desenvolvimento e Meio Ambiente	<i>Analysis of behaviour in the emissions of carbon dioxide of Brazil and other countries based on the Kaya Identity and the Emission Profile</i>	Dos Reis Feijó, G. Jose De Assis Rangel, J.
<i>Sustainability (Switzerland)</i>	<i>Decoupling and decomposition analysis of carbon emissions from industry: A case study from China</i>	Wang, Q. Li, R. Jiang, R.
<i>Aerosol and Air Quality Research</i>	<i>Energy consumption trends and decoupling effects between carbon dioxide and gross domestic product in South Africa</i>	Lin, S.-J. Beidari, M. Lewis, C.
<i>The Scientific World Journal</i>	<i>Empirical research on decoupling relationship between energy-related carbon emission and economic growth in guangdong province based on extended kaya identity</i>	Wang, W. Kuang, Y. Huang, N. Zhao, D.

Fonte: Elaboração Própria

#### 1.4. Questões de Pesquisa

- i. O Brasil conseguiu diminuir a participação dos combustíveis fósseis em sua matriz energética nas últimas décadas?

- ii. O Brasil apresenta uma matriz energética mais limpa e renovável quando comparado com os países da OCDE-Américas?
- iii. O perfil de desacoplamento entre emissões de CO<sub>2</sub> e expansão econômica do Brasil é semelhante ao padrão apresentado pelos países da OCDE-Américas?
- iv. Os indicadores analisados demonstram que o Brasil apresenta uma projeção de redução das emissões de CO<sub>2</sub>?

### **1.5.Método de Pesquisa do Trabalho**

As pesquisas podem ser classificadas de diversas formas. Segundo Da silva e Menezes (2005) as formas mais empregadas de classificação são: em relação a Natureza da pesquisa, a forma de abordagem do problema e sob o ponto de vista do objetivo da pesquisa.

Segundo Da silva e Menezes (2005) de acordo com a natureza da pesquisa ela pode ser: básica ou aplicada. A básica visa gerar novos conhecimentos para promover um avanço na ciência. Já a aplicada proporciona conhecimentos para o auxílio a solução de problemas específicos

Da silva e Menezes (2005) afirmam que relacionado a abordagem do problema, uma pesquisa pode ser classificada em: quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa implica em traduzir em números as informações, com o intuito de analisa-las. Já na pesquisa qualitativa o objeto de estudo não pode ser quantificado.

Gil (2008) afirma que de acordo com objetivo da pesquisa ela pode ser classificada em: exploratória, descritiva e explicativa. A pesquisa exploratória tem por objetivo fornecer conceitos e ideias com a finalidade de gerar hipóteses para pesquisas posteriores; a descritiva visa descrever um fenômeno ou até mesmo a relação entre algumas variáveis; já a explicativa tem como objetivo identificar os principais fatores que influenciam nos fenômenos.

Perceba então que de acordo com as classificações apresentadas a presente pesquisa é classificada como aplicada, quantitativa, descritiva e explicativa.

### **1.6.Delimitações e Estrutura do Trabalho**

O Presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Sendo o primeiro constituído por uma introdução dividida em seis etapas: contextualização, objetivos, justificativas, questões de pesquisa, métodos de pesquisa e delimitação e Estrutura do trabalho. Essa sessão visa proporcionar o conhecimento prévio sobre o assunto a ser abordado. Somado a isso, apresenta os objetivos a serem alcançados no presente trabalho e qual a motivação que proporcionou a escolha do tema.

O Segundo capítulo é constituído por uma revisão da literatura. Esse capítulo apresenta alguns trabalhos que dissertaram sobre o desacoplamento entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico. Dando ao leitor um conhecimento sobre o que foi realizado pelas literaturas mundiais e

proporcionando o conhecimento de assuntos importantes que serão abordados ao longo do trabalho. Somado a isso, demonstra alguns trabalhos que utilizaram os métodos empregados nessa pesquisa.

O Terceiro capítulo também é constituído por uma revisão da literatura, no entanto é apresentado os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. Esse capítulo tem o objetivo de demonstrar de forma detalhada os métodos e a base de dados nas quais foram retiradas os dados para serem aplicados.

O Quarto capítulo trata-se da apresentação dos resultados obtidos mediante a aplicação dos métodos. Esse capítulo promove uma discussão aprofundada sobre os resultados obtidos mediante a aplicação da metodologia.

Por fim, o quinto capítulo são as considerações finais oriundas da pesquisa. Nele são apresentadas as principais contribuições proporcionadas pelo desenvolvimento da pesquisa, além de apresentar as limitações das mesmas e sugestões para que futuras sejam realizadas.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nessa sessão é apresentada os trabalhos que visam orientar e apresentar alguns conceitos necessários para o entendimento da dissertação. Aqui também apresenta o que é comentado sobre a relação entre alguns fatores como o crescimento econômico, consumo de energia, emissões de CO<sub>2</sub> e desenvolvimento. Os nove trabalhos encontrados na pesquisa realizada pelo *Scopus* estão presentes nesse capítulo assim também como outros trabalhos que foram considerados relevantes para a realização da presente pesquisa.

Goldemberg (2000) comparando o Brasil com um grupo de países mais desenvolvidos membros da OCDE demonstra que a energia é um fator crucial para o desenvolvimento de um país. Minnesma (2003) em seu estudo sobre Holanda ressaltou que o crescimento econômico proporciona um elevado aumento do uso de energia, corroborando para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. O autor destacou também a necessidade do avanço tecnológico, aumento da eficiência energética e uma matriz energética com maior participação das fontes renováveis para que o país alcançasse o desacoplamento absoluto.

Henriques e Borowiecki (2017) estudaram as emissões de CO<sub>2</sub> com um corte temporal de mais de duzentos anos (1800 até 2010) com finalidade de descobrir durante esses séculos os principais fatores que proporcionaram o aumento das emissões. O foco desse estudo foram países da Europa, América do Norte e Ásia. Ele afirmou que durante esse período temporal o crescimento da renda foi principal fator que impulsionou o aumento das emissões, enquanto a redução da intensidade energética (relação entre energia e econômica) foi principal fator que agiu de forma a reduzir as emissões. Somados a isso, foi demonstrado que em pontos importante da história onde

acontece uma mudança na utilização de energia como, em guerras, influenciam diretamente nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Nesse contexto Lima *et al.* (2016) visando estudar as principais relações que afetam as emissões de CO<sub>2</sub>, utilizaram uma versão estendida de Kaya. Eles concluíram que, nos países estudados, a afluência ou PIB/*capita* foi o principal fator que contribuiu para o aumento das emissões, e a intensidade energética o principal que atuou de forma a reduzir as emissões. Foi destacado também a importância da melhora da eficiência energética e a inserção de energia proveniente de fontes não fósseis para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Mahony (2013) estudando a Irlanda também identificou que a afluência foi principal fator para o aumento das emissões e a intensidade energética o principal responsável pela redução. Já O' mahony e Dufour (2015) analisando as emissões na Espanha identificaram também a afluência como a principal responsável pelo aumento das emissões.

Brizga; Feng e Hubacek (2013) tiveram o seu foco de estudo nos países da antiga união soviética. Mediante a versão estendida do IPAT foi possível analisar os principais influenciadores das emissões de dióxido de carbono no período de 1990 até 2010. Foi concluído que a industrialização, a intensidade energética, a transição da energia e a afluência foram os principais fatores que contribuíram para a variação das emissões CO<sub>2</sub>, tanto negativamente quanto positivamente. Mediante a utilização da EKC foi possível analisar a variação das emissões em relação ao PIB, e visto que em alguns países menos desenvolvidos o crescimento econômico liderou o aumento das emissões.

Corroborando com essa afirmativa, Schandl *et al.* (2016) em seus estudos, demonstram que os países mais desenvolvidos apresentam um potencial maior de redução das suas emissões, em conjunto com um crescimento econômico, enquanto, nos países menos desenvolvidos, o crescimento de sua economia pode proporcionar um elevado aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. Somado a isso, Wu; Zhu e Zhu (2018) afirmaram que, em períodos recentes, os países em desenvolvimento são os principais responsáveis pelo elevado aumento das emissões de CO<sub>2</sub> devido ao processo de urbanização e industrialização.

### **2.1.Desacoplamento de Emissões de CO<sub>2</sub> e Crescimento Econômico**

Wang; Li e Jiang (2016) estudaram as indústrias da China, através de uma versão estendida da Identidade de Kaya. Foi verificado os principais fatores que contribuíram para a evolução das emissões, com um corte temporal de 1994 até 2013. Mediante essa análise, foi possível explicar os principais fatores que influenciaram no desacoplamento ou o não desacoplamento neste período estudado. A riqueza *per capita* e a intensidade energética demonstraram ser os principais impulsionadores às emissões, enquanto a estrutura e a intensidade energética agiram de forma a

mitigar as emissões. Foi concluído que os principais estados encontrados foram desacoplamento fraco e desacoplamento expansivo.

Ainda sobre China, outros trabalhos também estudaram o desacoplamento como Li *et al.* (2019) que verificaram o desacoplamento entre o crescimento econômico e as emissões de CO<sub>2</sub> em Xangai. Ma e Cai (2019) estudaram o desacoplamento entre o crescimento econômico e as emissões de CO<sub>2</sub> dos edifícios comerciais da China e Wang *et al.* (2014) verificaram o desacoplamento entre emissões de CO<sub>2</sub> energéticas e o crescimento econômico na província de Guangdong.

Feijó e Rangel (2018) por meio do método de perfil de emissões e a Identidade de Kaya, verificaram o crescimento das emissões brasileiras e o seu desacoplamento em relação ao crescimento econômico do país comparativamente com outros seis países. Em sua análise eles perceberam que o Brasil não apresentou uma boa evolução quando comparada com as de outros países.

Chen *et al.* (2018) combinaram o LMDI (*Logarithmic Mean Divisia Index*) com o método de desacoplamento de Tapio para verificar o desacoplamento da OCDE. Engo (2018) utilizou o método de Tapio e outro baseado em uma versão estendida de Kaya para estudar o desacoplamento entre emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico em camarões no período de 1990 a 2015. Eles concluíram que o estado de desacoplamento predominante nesse período foi o de desacoplamento fraco.

Já com o foco na Grécia Roinioti e Koroneos (2017) verificaram as emissões de CO<sub>2</sub> energéticas e seu desacoplamento em relação ao crescimento econômico antes e durante a crise econômica. Eles concluíram que existe uma forte conexão entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico no país.

## **2.2. Métodos de Validação do Desacoplamento**

Xie; Gao e Sun (2019) estudaram o desacoplamento entre emissões de CO<sub>2</sub> e PIB nas indústrias de energia chinesas utilizando o método de Tapio juntamente com o LMDI e a Identidade de Kaya. Eles concluíram que os estados alternaram entre desacoplamento fraco e desacoplamento negativo expansivo. Confirmaram também que a intensidade energética e a energia consumida para a geração foram o que mais contribuíram positivamente para o desacoplamento.

Wu *et al.* (2019) utilizando o desacoplamento de Tapio em conjunto com uma versão estendida da Identidade de Kaya verificaram o desacoplamento em 30 províncias chinesas. Eles afirmaram que é fundamental para o desenvolvimento sustentável global que os países alcancem o desacoplamento entre as emissões de carbono e o desenvolvimento econômico. Mediante essa pesquisa, foi fornecido dados importantes para que as autoridades chinesas possam propor medidas que visem o crescimento econômico com reduções das emissões.

Meng *et al.* (2018) utilizaram o método de Tapio juntamente com outras metodologias para verificar o desacoplamento entre as produções industriais na China e os seus respectivos consumos energia fóssil. Eles demonstraram que o consumo de energia fóssil pelas indústrias atingiu seu pico e, conseqüentemente, devem diminuir. Concluíram também que a China deve aumentar a geração de energia elétrica via combustíveis não fósseis.

Zhao *et al.* (2017) utilizando o LMDI baseando-se no método de Tapio verificaram o desacoplamento entre os cinco principais setores econômicos da China. A pesquisa demonstrou que no período analisado os setores alcançaram o estado de desacoplamento fraco. Foi descoberto que a redução da intensidade energética apresentou um papel fundamental para o desacoplamento em todos os setores da economia do País.

Lin; Beidari e Lewis (2015) estudaram o desacoplamento entre as emissões de CO<sub>2</sub> e energia em relação ao PIB utilizando o método de desacoplamento da OCDE e de Tapio e verificaram os principais fatores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> mediante a utilização da Identidade de Kaya no período 1990 a 2012. Os autores utilizaram dois métodos diferentes de desacoplamento com o intuito de compara-los. Foi concluído que, mesmo com uma aplicação diferente, essas metodologias apresentaram resultados correlacionados. Foi descoberto também que as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram consideravelmente nesse período e que o crescimento de energia não fóssil na matriz energética será fundamental para redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Por fim, a pesquisa demonstra que os métodos utilizados podem ser uma ferramenta para auxiliar em tomadas de decisões visando o desenvolvimento sustentável.

Yu *et al.* (2013) partindo do método de desacoplamento da OCDE verificaram o desacoplamento entre o crescimento econômico e os 6 maiores poluentes na China, incluindo logicamente, as emissões de CO<sub>2</sub>. Em dado momento foi comparado o desacoplamento do país com os dez países de maiores PIB no ano de 2010. De maneira geral a China apresentou o estado de desacoplamento relativo. Foi demonstrado também, que alguns países atingiram a marca de desacoplamento absoluto em relação às emissões de CO<sub>2</sub>.

### **2.3. Conclusão da Revisão da Literatura**

A revisão da literatura demonstrou que diversos fatores podem proporcionar o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, o crescimento econômico juntamente com o aumento da demanda energética e a industrialização, demonstraram-se os fatores mais recorrentes que elevaram as emissões em diversos países. O Estudo apresentou também que em diversos países a redução da intensidade energética, ou seja, a dissociação entre PIB e energia, auxiliou na redução ou no menor crescimento das emissões de CO<sub>2</sub>. Por conseqüência, esse indicador também influenciou no



desacoplamento. Outro ponto ressaltado foi a importância do aumento da participação das energias renováveis nas matrizes energéticas dos países.

Perceba também que o conceito de desacoplamento tem sido empregado em diversos estudos, sendo considerados por muitos da comunidade científica um indicador importante para o auxílio na busca por um desenvolvimento com menor emissão de CO<sub>2</sub>. Logicamente, que apenas o estudo do desacoplamento não é suficiente para interpretar todos cenários necessários para que decisões possam ser tomadas visando a redução das emissões, no entanto sua combinação com outros indicadores e métodos demonstra ser uma ferramenta importante para que os países possam atingir a meta sonhada do desenvolvimento sustentável.

Veja também que dentre todos os países, a China foi o que apresentou a maior quantidade de trabalhos. Sua condição de maior emissor de CO<sub>2</sub> mundial influencia diretamente nesse aspecto e as pesquisas visam proporcionar dados para que esse quadro negativo possa ser alterado.

Por fim foi apresentado que alguns países estão conseguindo alcançar o desacoplamento. Tal fato demonstra que é possível crescer economicamente com menor emissão de CO<sub>2</sub>. Os países mais desenvolvidos apresentaram maior facilidade em atingir essa meta, enquanto, nos que estão em desenvolvimento, essa relação entre economia e emissões, geralmente, apresentaram comportamento similares. Perceba também que os desenvolvidos por estarem em um estado de industrialização conseguem investir em novas tecnologias sustentáveis, enquanto os em desenvolvimento, ainda são muito dependentes dos combustíveis fósseis nos seus respectivos processos de industrialização.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados coletados para a realização deste estudo foram retirados da base de dados da Agência Internacional de Energia (IEA), dos quais os valores relacionados às emissões de CO<sub>2</sub> são referentes à queima de combustíveis fósseis. O corte temporal empregado foi de 1990-2016, sendo 2016 o último ano disponível na base no momento desta pesquisa. Os métodos utilizados foram: método da OCDE e Tapio para o estudo do desacoplamento entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o PIB. Já a Identidade de Kaya para verificar a evolução das emissões dos países selecionados e seus principais fatores.

#### **3.1. Descrição do Conjunto de Países Selecionados**

Os países selecionados para a análise foram o Brasil e os países da OCDE-Américas (Canadá, Chile, México e USA). Esses países foram selecionados mediante ao interesse do Brasil em ser um país membro da OCDE.

Como estudos demonstram que o grau de desenvolvimento de um país assim como seu crescimento econômico afeta em sua evolução das emissões CO<sub>2</sub>, foi comparado o perfil de desacoplamento do Brasil com esses países selecionados.

### 3.2. IPAT e Identidade de Kaya

A Identidade de Kaya é uma versão estendida da identidade IPAT de Ehrlich e Holdren (1971). Ela é uma equação idealizada para mensurar o impacto provocado pelas ações humanas em relação ao meio ambiente. Através dessa expressão é possível quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> utilizando a energia, o PIB e a população (KAYA, 1989). A Identidade de Kaya é expressa pela Equação 1.

$$C = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{PIB} \times \frac{PIB}{P} \times P \quad (1)$$

Onde,

C = Emissões de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>)

E = Energia total primária requerida (Mtoe\*)

PIB = Produto Interno Bruto (bilhões de dólares americanos em 2010)

P = População (milhões de pessoas)

$\frac{E}{PIB}$  = Intensidade energética (toe/ mil dólares americanos em 2010)

$\frac{CO_2}{E}$  = Intensidade carbônica (TCO<sub>2</sub>/ toe)

$\frac{PIB}{P}$  = Produto Interno Bruto per capita (mil dólares americanos em 2010 per capita)

\*Toe = Tonelada de petróleo equivalente

A Identidade de Kaya foi idealizada com a possibilidade de serem adicionados outros elementos à equação, formando uma versão estendida (MA; STERN, 2008). Para eliminar algumas limitações relacionadas a implicações políticas Lin; Beidari e Lewis (2015) utilizaram uma versão estendida somente para emissões de carbono energéticas. Essa mesma versão será utilizada neste trabalho. Ela é expressa pela Equação 2 e pela Equação 3.

$$C = \frac{CO_2}{TPES} \times \frac{TPES}{PIB} \times \frac{TFC}{PIB} \times \frac{PIB}{P} \times P \quad (2)$$

Onde,

C = Emissões de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>)

P = População (milhões de pessoas)

TPES = Energia total primária requerida (Mtoe)

PIB = Produto Interno Bruto (bilhões de dólares americanos em 2010)

$\frac{CO_2}{TPES}$  = Intensidade carbônica (TCO<sub>2</sub>/ toe)

$\frac{TPES}{TFC}$  = Energia total primária requerida pela energia total final consumida

$\frac{TFC}{PIB}$  = Intensidade energética (toe/ mil dólares americanos em 2010)

$\frac{PIB}{P}$  = Produto Interno Bruto per capita (mil dólares americanos em 2010 per capita)

$$\frac{d(\ln C)}{dt} = \frac{d(\ln \frac{CO_2}{TPES})}{dt} + \frac{d(\ln \frac{TPES}{TFC})}{dt} + \frac{d(\ln \frac{TFC}{PIB})}{dt} + \frac{d(\ln \frac{PIB}{P})}{dt} + \frac{d(\ln P)}{dt} \quad (3)$$

No Apêndice A pode ser observado os dados retirados da IEA para aplicação da Identidade de Kaya nos países selecionados.

### 3.3. Método de Tapio

A metodologia de Tapio foi originalmente empregada por Tapio (2005). Ela é uma modificação da metodologia proposta por Vehmas *et al.* (2003) e consiste em uma fórmula de mensurar o desacoplamento entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o PIB. Posteriormente, Finel e Tapio (2012) realizaram algumas alterações no modelo com a finalidade de gerar mais facilidade em seu entendimento, originando o Desacoplamento Diamante. A Equação 4 representa como mensurar o desacoplamento segundo o Desacoplamento Diamante, ou seja, a elasticidade de desacoplamento (e).

$$e = \frac{\% \Delta CO_2}{\% \Delta PIB} \quad (4)$$

Onde:

e = elasticidade de desacoplamento

% ΔCO<sub>2</sub> = Variação percentual de emissão CO<sub>2</sub>

% ΔPIB = Variação percentual do PIB.

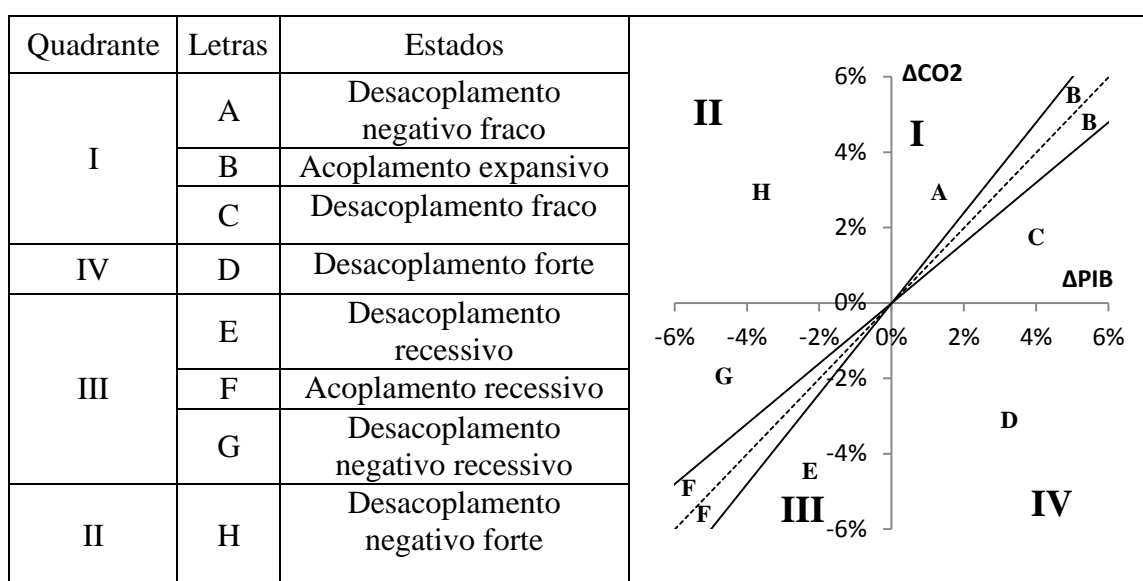
Mediante o resultado da elasticidade de desacoplamento obtido na equação, e os valores de %ΔCO<sub>2</sub> e %ΔPIB, existem oito estados possíveis para classificação. Esses estados irão variar em acoplamento, desacoplamento ou desacoplamento negativo (FINEL; TAPIO, 2012). A Tabela 1

demonstra os valores necessários para alcançar cada estado de desacoplamento. Para melhor compreensão do método, a Figura 5 demonstra o comportamento de cada estado graficamente.

**Tabela 1** – Estados do Desacoplamento Diamante

Condições	Estados
Se $e < 0$ e $\% \Delta CO_2 < 0$ e $\% \Delta PIB > 0$	Desacoplamento forte
Se $0 < e < 0.8$ e $\% \Delta CO_2 > 0$ e $\% \Delta PIB > 0$	Desacoplamento fraco
Se $0.8 < e < 1.2$ e $\% \Delta CO_2 > 0$ e $\% \Delta PIB > 0$	Acoplamento expansivo
Se $e > 1.2$ e $\% \Delta CO_2 > 0$ e $\% \Delta PIB > 0$	Desacoplamento negativo fraco
Se $e < 0$ e $\% \Delta CO_2 > 0$ e $\% \Delta PIB < 0$	Desacoplamento negativo forte
Se $0 > e < 0.8$ e $\% \Delta CO_2 < 0$ e $\% \Delta PIB < 0$	Desacoplamento negativo recessivo
Se $0.8 < e < 1.2$ e $\% \Delta CO_2 < 0$ e $\% \Delta PIB < 0$	Acoplamento recessivo
Se $e > 1.2$ e $\% \Delta CO_2 < 0$ e $\% \Delta PIB < 0$	Desacoplamento recessivo

Fonte: Adaptado de Finel e Tapio (2012)



**Figura 5** – Ilustração do desacoplamento diamante

Fonte: Adpatado de Finel ;Tapio (2012)

### 3.4.Método de Desacoplamento da OCDE

O Método de desacoplamento da OCDE foi desenvolvido pela própria organização em 2002. O Desacoplamento segundo a OCDE ocorre quando há uma dissociação entre uma pressão ambiental em relação a um indicador econômico (*driving force*). Mediante sua utilização é possível mensurar o valor de desacoplamento entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento econômico de um determinado país. O desacoplamento é mensurado mediante a utilização da Equação 5 e da Equação 6 (OECD, 2002).

$$\text{Índice de desacoplamento} = \frac{\frac{EP}{DF} \text{ final do período}}{\frac{EP}{DF} \text{ início do período}} \quad (5)$$

Onde,

EP = Indicador de pressão ambiental

DF = Indicador de atividade econômica

$$\text{fator de desacoplamento} = 1 - \text{índice de desacoplamento} \quad (6)$$

Segundo esse método o desacoplamento ocorre quando o índice de desacoplamento  $< 1$  ou o Fator de desacoplamento  $> 0$ . O desacoplamento pode ser dividido em duas classes, absoluto ou relativo. Absoluto quando o indicador de pressão ambiental é estável ou diminui e o indicador econômico aumenta. Relativo quando ambos indicadores aumentam, no entanto o indicador de economia aumenta em uma taxa maior do que o de pressão ambiental (OECD, 2002).

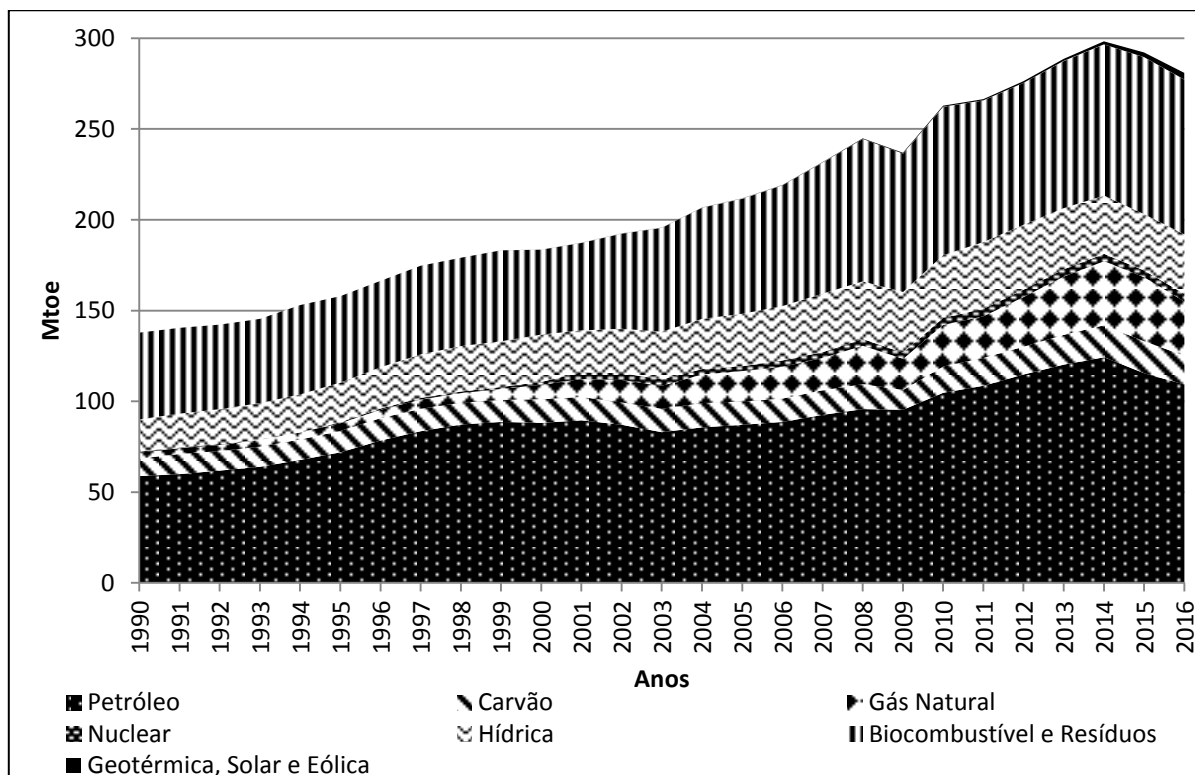
### **3.5. Perfil de Emissão de CO<sub>2</sub>**

O perfil das emissões de CO<sub>2</sub> é uma modelagem que permite verificar o comportamento das emissões de CO<sub>2</sub> referente ao crescimento populacional e econômico de um determinado país. Esse comportamento pode ser observado por um gráfico de bolhas no qual as emissões de CO<sub>2</sub> são representadas pelo diâmetro da circunferência. É demonstrado também a trajetória do CO<sub>2</sub>/PIB (intensidade de emissão de dióxido de carbono) e CO<sub>2</sub>/P (emissões per capita) em um intervalo temporal. Na análise do perfil das emissões o desejado é que os países apresentem uma evolução rumo ao vértice do gráfico, o ponto (0,0), com redução do diâmetro da circunferência, ou seja, o ideal é que ocorra uma redução de todos os indicadores (FEIJÓ; RANGEL, 2018).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Matriz energética brasileira**

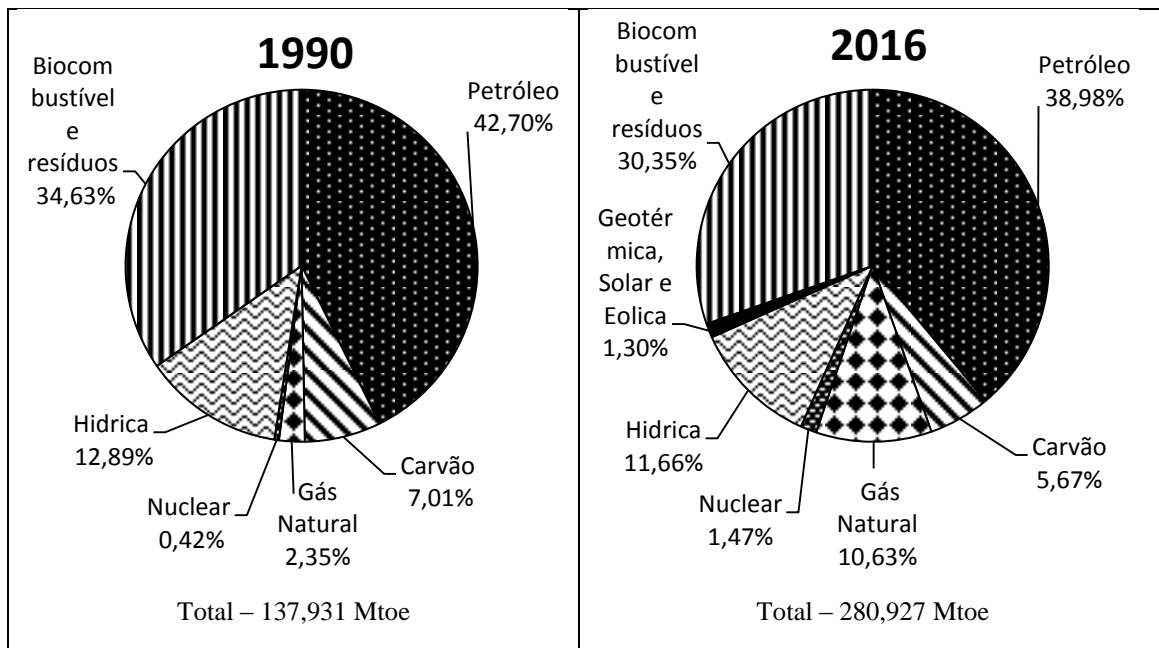
A Figura 6 demonstra a evolução da matriz energética brasileira no período compreendido entre 1990-2016. Perceba que a matriz brasileira é composta por diversas fontes de geração, sendo as principais: petróleo, bicomcombustível e resíduos, hídrica e gás natural. Veja também que recentemente as novas fontes renováveis (solar e eólica) iniciaram sua participação na matriz, no entanto ainda não apresentam valores expressivos quando comparada às demais fontes.



**Figura 6** – Evolução da Matriz energética Brasileira  
**Fonte:** Elaboração própria

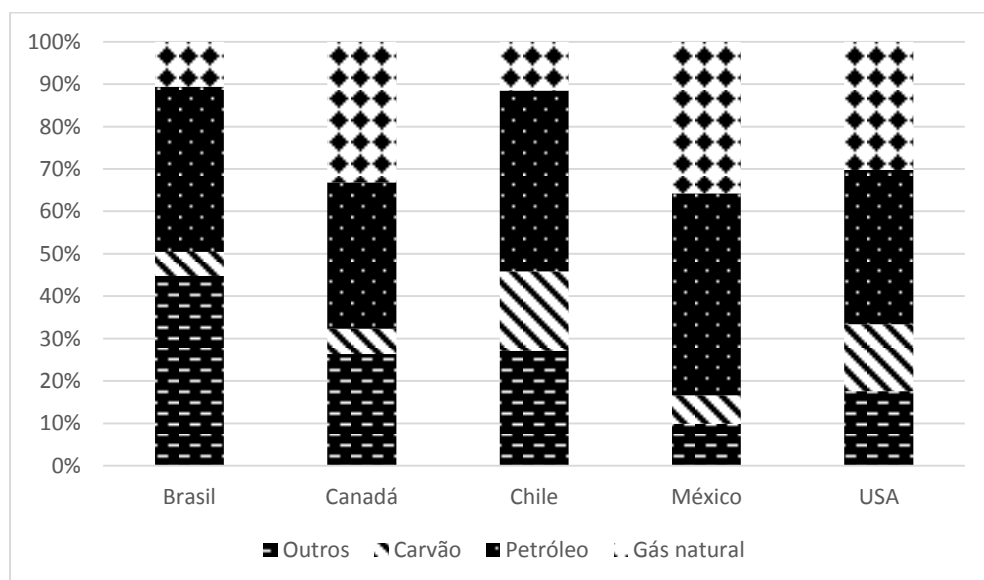
Com o intuito de verificar as principais mudanças ocorridas, a Figura 7 apresenta a participação em percentual de cada combustível na matriz energética brasileira nos anos de 1990 e 2016. Observe que desde 1990 o petróleo é a que apresenta o maior valor de participação na matriz seguido pelo biocombustível. A presença de uma fonte renovável como o biocombustível entre as principais do país com participação de aproximadamente 30% no ano de 2016 é um ponto positivo da matriz brasileira em relação aos outros países. Outro ponto de destaque a ser observado é a presença de outras fontes renováveis como a hídrica, solar e a eólica. Elas auxiliam a proporcionar uma matriz energética sustentável para o Brasil.

No entanto, note que nesse mesmo período houve um aumento nas participações dos combustíveis fósseis na matriz energética brasileira, o que contraria o que foi estabelecido pelos acordos internacionais sobre o clima. Veja que em 1990 o petróleo, carvão, e gás representavam na matriz energética brasileira 52,06%, sendo respectivamente (42,70%, 7,01% e 2,35%) já em 2016 esse valor aumentou para 55,28% respectivamente (38,98%, 5,67% e 10,63%). Note também que esse aumento deu-se principalmente pelo elevado aumento da participação do gás que em 1990 apresentava uma participação de apenas 2,35% e em 2016 esse valor aumentou para 10,63%.



**Figura 7** – Matriz energética brasileira nos anos 1990 e 2016  
**Fonte:** Elaboração Própria

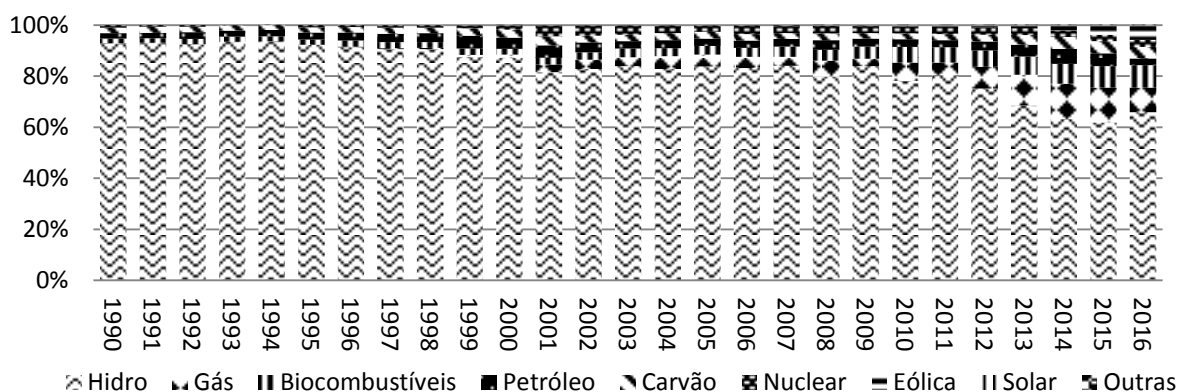
Observe então a Figura 8. Perceba que ela apresenta uma comparação do uso dos combustíveis fósseis da matriz energética brasileira com as dos países da OCDE-Américas. Veja que o Brasil é o país que apresenta a menor participação das fontes não fósseis em sua matriz. No entanto, note que todos os países compartilham o fato de serem altamente dependentes da energia fósseis, com destaque para petróleo que é a fonte mais utilizada por todos. O destaque negativo entre esses países são o México e os USA que apresentam respectivamente cerca de 90% e 82% de sua matriz energética por fontes fósseis.



**Figura 8** – Comparação da matriz energética: Brasil e países da OCDE-américas. Ano base 2016  
**Fonte:** Elaboração Própria

Vamos analisar agora a matriz de geração de energia elétrica brasileira. Veja na Figura 9 a grande participação da fonte hídrica que em 1990 representava cerca de 92,77% da matriz, ou seja, a matriz elétrica era praticamente composta por essa fonte e no ano de 2016 esse valor caiu para 65,80%. Com isso é possível observar que a matriz ficou mais diversificada mediante o crescimento de outras fontes, tanto as fósseis como as renováveis. Como exemplo do crescimento das fontes renováveis é possível citar a finalização da instalação da maior usina fotovoltaica da América Latina, em 2017 no território brasileiro (ENEL GREEN POWER, 2017).

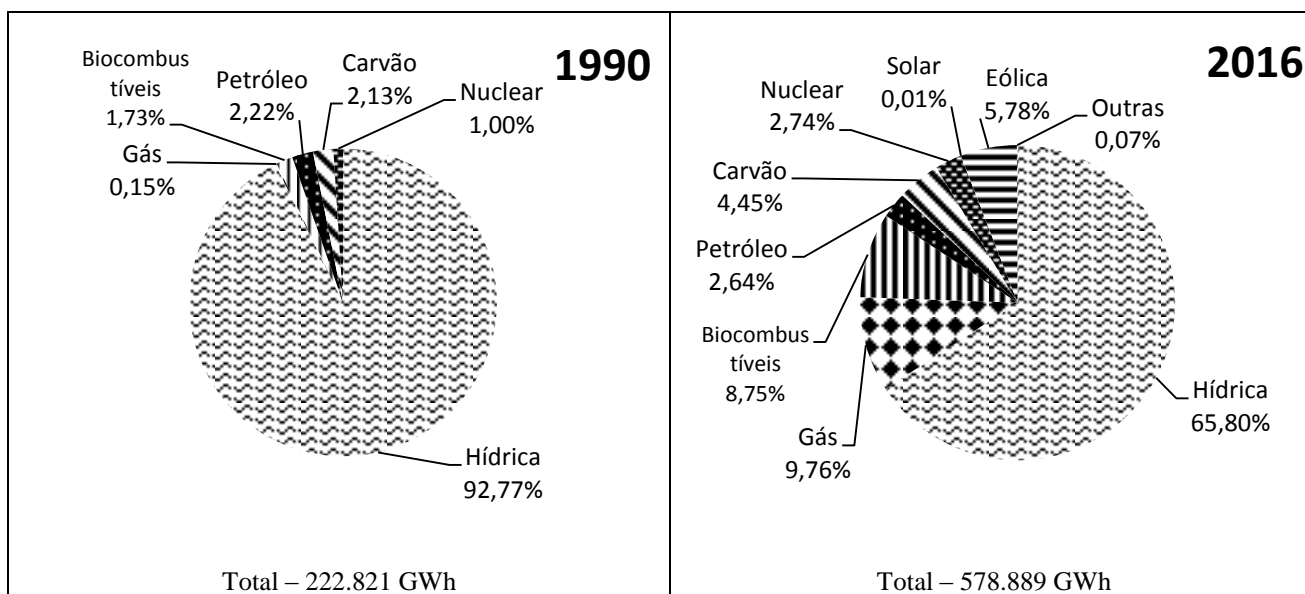
## Matriz Elétrica do Brasil



**Figura 9** – Evolução da Matriz elétrica do Brasil

Fonte: Elaboração Própria

Veja agora que a Figura 10 apresenta a matriz elétrica no ano de 1990 e no ano de 2016. Perceba que é possível visualizar de forma mais específica as mudanças ocorridas na matriz. Note então que as fontes que apresentaram o maior crescimento foram o gás, biocombustíveis e eólica. Essas fontes representavam respectivamente 0,15%, 1,73% e 0% em 1990, e em 2016 esses valores passaram para 9,76%, 8,75% e 5,78%.



**Figura 10** - Matriz elétrica Brasileira - 1990 e 2016

Fonte: Elaboração própria



## **4.2. Análise do desacoplamento por diferentes métodos**

Os resultados da análise de desacoplamento estão apresentados da seguinte forma: Inicialmente, foi utilizado o método de Tapio em quatro períodos de cinco anos entre 1990-2010 e um período de seis anos 2010-2016. Posteriormente, nos 26 anos corridos, com o ano de 1990 como base. Logo após, o método de desacoplamento da OCDE foi aplicado para visualizar a evolução do desacoplamento ao longo do período estudado com a intenção de confirmar os resultados obtidos.

### **4.2.1. Análise de Tapio**

A Figura 11 descreve o comportamento dos países da OCDE, OCDE-Américas e Brasil no que tange o crescimento do seu PIB e suas emissões de CO<sub>2</sub> utilizando a metodologia de Tapio. Cada área do gráfico representa um estado de desacoplamento (veja a Figura 5). A linha pontilhada, situada no primeiro quadrante, indica o marco onde o crescimento do PIB e das emissões são iguais, abaixo dela indica que o PIB apresentou um crescimento maior que as emissões e, acima demonstra que as emissões cresceram mais do que o PIB. Perceba que apenas foram representados o primeiro e o quarto quadrantes, visto que os países só alcançaram os estados de desacoplamento compreendidos neles. Os países devem apresentar um desenvolvimento onde o seu comportamento caminha em direção ao quarto quadrante, ou seja, reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> com aumento do seu PIB.

De forma geral, a OCDE assim como o USA e o Canadá, apresentaram os melhores resultados. Chile e México compartilharam o fato de terem oscilados seus estados de desacoplamento durante as últimas décadas, mas no período recente apresentarem melhoras. Já o Brasil, apresentou um comportamento instável e demonstrou que a tendência é de não melhorar o seu estado de desacoplamento.

Mais especificamente, observe que a OCDE e OCDE-Américas apresentam um perfil de desacoplamento que caminha de desacoplamento fraco para desacoplamento forte. Esse grupo de países conseguiu desacoplar suas emissões de CO<sub>2</sub> do crescimento do seu PIB. Os Estados Unidos e o Canadá também demonstram um perfil sólido de desacoplamento. Eles diferenciam-se pelo fato de que o primeiro permaneceu nos últimos dezesseis anos, em estado de desacoplamento forte. Já o segundo, não apresentou esse comportamento e, nos últimos seis anos, retornou ao primeiro quadrante, no estado de desacoplamento fraco, ou seja, não permaneceu em estado redução de suas emissões. O USA demonstrou um perfil sólido de redução de suas emissões enquanto o Canadá não.

O Chile não conseguiu manter-se em um mesmo estado de desacoplamento por dois períodos consecutivos. Observe que esse país apresentou no último período estudado (ponto 5 do gráfico (e) da Figura 11), a marca de Acoplamento expansivo. Veja que em comparação com o

período anterior (ponto 4 do gráfico (e) da Figura 11) houve uma melhora do seu estado de desacoplamento.

O México, após oscilar nos quatro primeiros períodos, no último período, apresentou um padrão de desacoplamento fraco (ponto 5 do gráfico (f) da Figura 11). Note que esse fato indica que o país está melhorando seu perfil de desacoplamento. Caso continue nesse padrão, existe a possibilidade de alcançar o estado de desacoplamento forte e iniciar um desenvolvimento com redução de suas emissões de CO<sub>2</sub>.

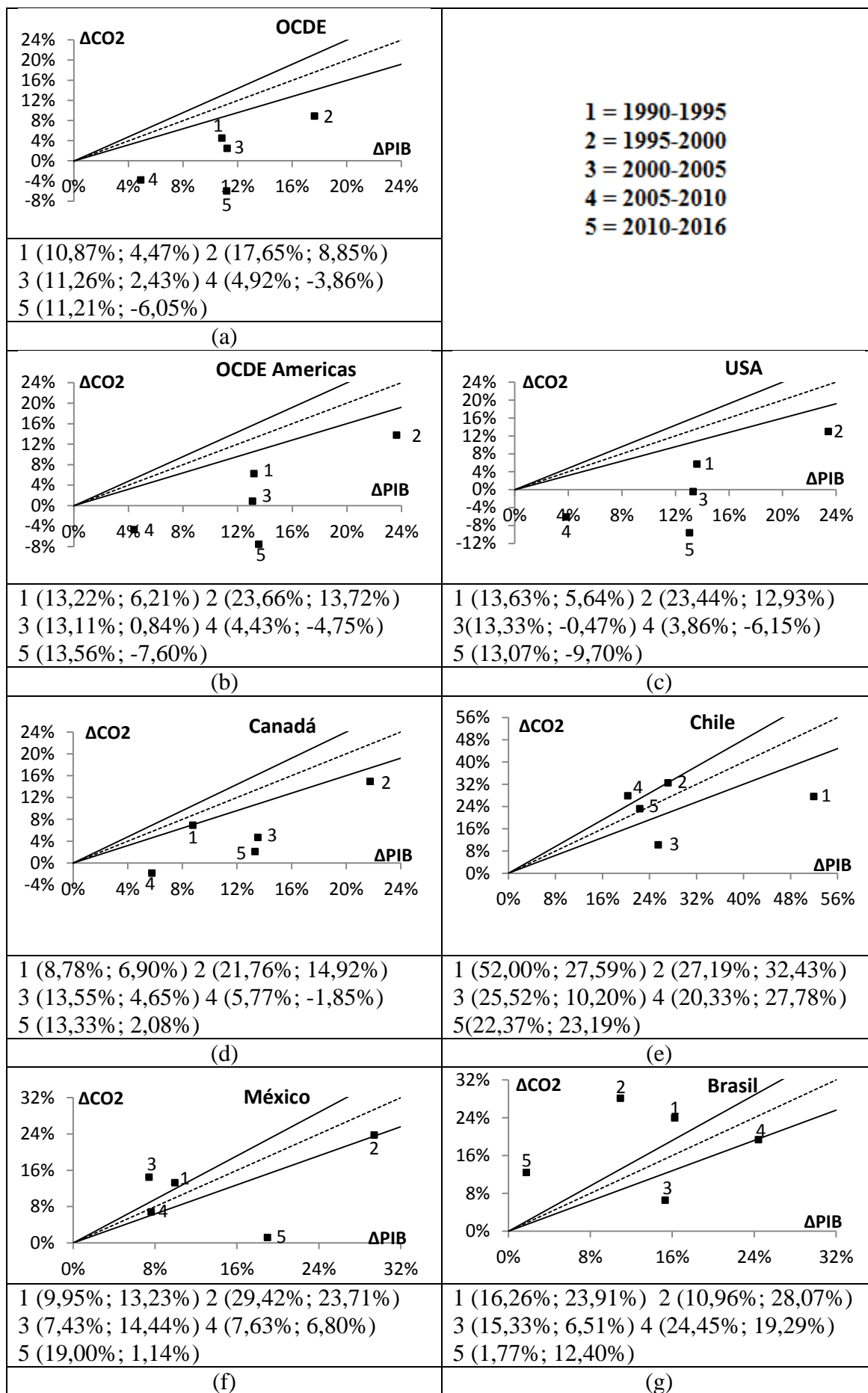
Já o Brasil apresentou indícios que poderia manter um perfil de desacoplamento sólido devido ao estado de desacoplamento fraco alcançado (pontos 3 e 4 do gráfico (g) da Figura 11), no entanto retornou a condição de desacoplamento negativo fraco no último período estudado (ponto 5 do gráfico (g) da Figura 11). O país foi o único dentre os selecionados que, na maioria dos períodos analisados, apresentou a condição de desacoplamento negativo fraco, ou seja, na maior parte do tempo apresentou um aumento de suas emissões maior que a sua expansão econômica. Este comportamento não é desejado pelos países.

Nas Tabelas dispostas no Apêndice B podem ser observados os valores de  $\% \Delta \text{CO}_2$ ,  $\% \Delta \text{PIB}$  e o valor do índice de elasticidade de cada país nos cinco períodos analisados e em uma análise com intervalo de um ano.

Após verificar o caminho percorrido por cada país em uma análise com intervalos, foi feita outra ao longo dos 26 anos corridos. Essa nova análise demonstrou os estados de desacoplamento que cada país atingiu no período temporal completo, ou seja, sintetiza os estados de desacoplamento que os países atingiram devido à evolução apresentada na Figura 11. A Tabela 2 apresenta esta nova análise, onde o método de Tapio foi aplicado com o ano de 1990 como base. Note que é possível observar a elasticidade de desacoplamento e estado de desacoplamento de cada país mediante a variação total do  $\Delta \text{PIB}$  (%) e  $\Delta \text{CO}_2$  (%).

Observe que a Tabela 2 demonstra que o Brasil foi o único país que nos últimos vinte e seis anos obteve o crescimento das suas emissões de CO<sub>2</sub> maior que sua expansão econômica. Isso fez com que o país obtivesse o estado de desacoplamento negativo fraco, diferentemente de todos os países da OCDE analisados que apresentaram um estado de Desacoplamento fraco.

Além disso, outro fator chama atenção na Tabela 2, ela apresenta que analisando apenas os percentuais do crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> o Chile foi o país que mais obteve aumento de suas emissões em termos porcentuais, seguido pelo Brasil.



**Figura 11 - Método de Tapio; (a) OCDE, (b) OCDE-Américas, (c) USA, (d) Canadá, (e) Chile, (f) México, (g) Brasil**  
**Fonte: Elaboração Própria**

**Tabela 2** – Método de Tapio aplicado no período de 1990-2016

<b>Intervalos de Anos</b>	<b>Países</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
<b>1990-2016</b>	Brasil	88%	127%	1,432	desacoplamento negativo fraco
<b>1990-2016</b>	Canadá	80%	29%	0,359	desacoplamento fraco
<b>1990-2016</b>	Chile	257%	193%	0,750	desacoplamento fraco
<b>1990-2016</b>	México	96%	73%	0,764	desacoplamento fraco
<b>1990-2016</b>	USA	87%	1%	0,001	desacoplamento fraco
<b>1990-2016</b>	OCDE-Américas	88%	7%	0,082	desacoplamento fraco
<b>1990-2016</b>	OCDE	69%	5%	0,075	desacoplamento fraco

**Fonte:** Elaboração Própria

#### 4.2.2. Análise do método da OCDE

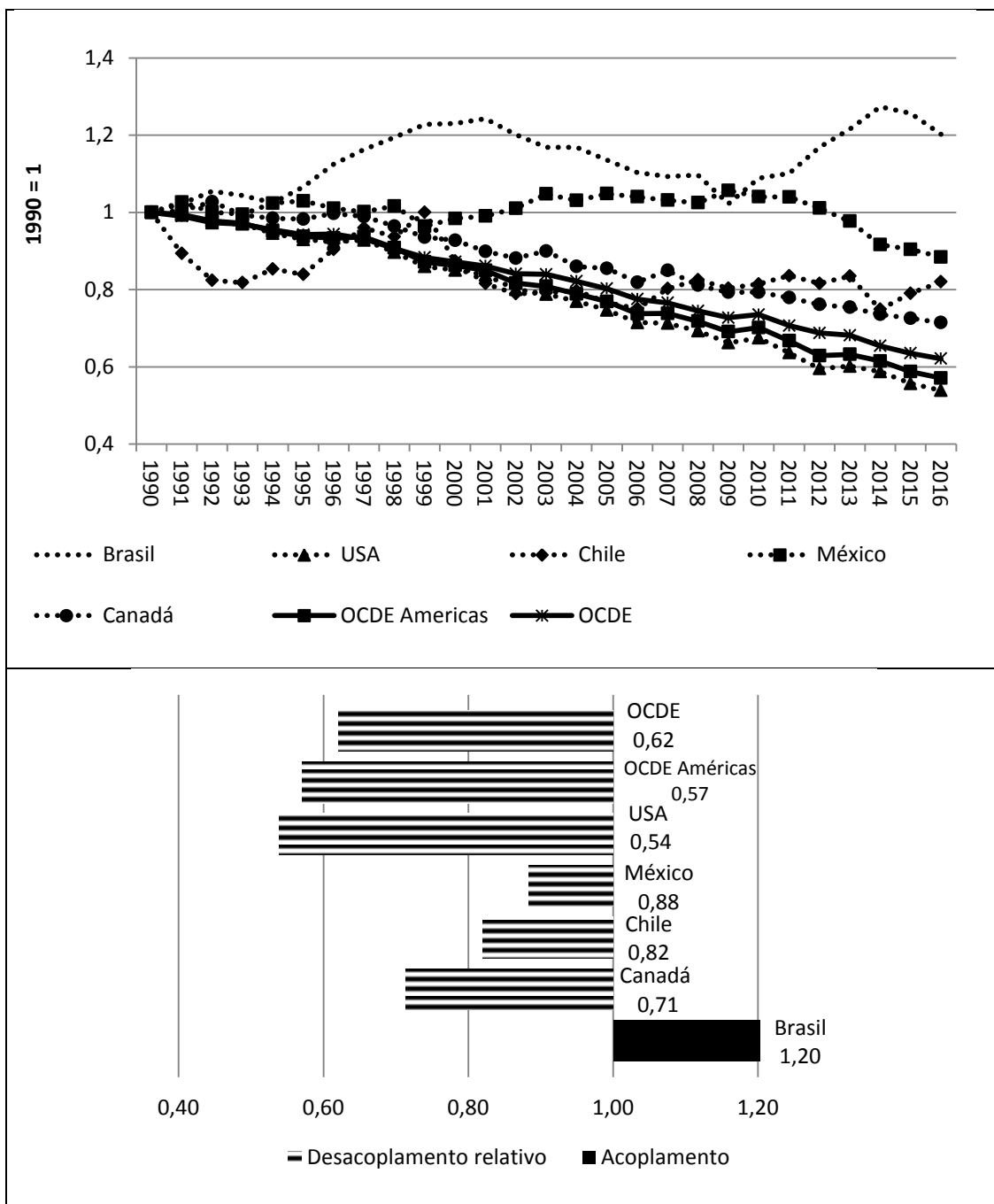
Analisando os países sob a ótica do método de desacoplamento da OCDE, a Figura 12 apresenta a evolução do Índice de desacoplamento nas últimas décadas. Note que nesse gráfico é possível visualizar a evolução cronológica do índice de desacoplamento e os estados que os países alcançaram. Observe que os valores desse índice devem estar abaixo de 1 para que os países alcancem um estado de desacoplamento.

Perceba que os resultados obtidos mediante a utilização desse método confirmam os obtidos pelo método de Tapio, no qual o Brasil obteve o pior estado de desacoplamento entre os analisados. Observe que a Figura 12 demonstra que em todos os países o índice de desacoplamento diminuiu, exceto no Brasil. Isso comprova que o país possui um comportamento ruim quando fixado o ano de 1990 para análise. Ele não conseguiu desacoplar suas emissões de CO<sub>2</sub> do seu PIB enquanto os países da OCDE-Américas e a OCDE estão desacoplando. Os países da OCDE-Américas alcançaram o estado de desacoplamento relativo, enquanto o Brasil permaneceu no estado acoplamento.

Analisando os países da OCDE-Américas, o USA e Canada foram os que apresentaram um comportamento de desacoplamento mais estáveis (0,54 e 0,71, respectivamente), sendo que o primeiro apresentou o melhor comportamento dentre todos os países selecionados. Já o Chile e o México apresentaram comportamento mais instável. O México foi o país que apresentou maior dificuldade em alcançar o estado de desacoplamento, mas demonstra atualmente um perfil sólido de desacoplamento. O Chile esteve basicamente em todo momento em estado de desacoplamento em relação ao seu comportamento apresentado em 1990, apenas apresentando uma exceção no ano de 2010, no entanto, demonstrou uma grande oscilação no seu índice de desacoplamento e, atualmente, está próximo ao México. Eles diferenciam-se também pelo fato que o México demonstrou recentemente uma redução de seu índice, enquanto o Chile apresentou um aumento no último ano analisado.

Analisando mais especificamente o Brasil, é possível observar que em nenhum momento o país esteve em estado de desacoplamento em relação ao ano de 1990, ou seja, durante os vinte e seis anos o seu índice de desacoplamento nunca esteve abaixo de 1. Perceba que seu melhor comportamento foi no período entre 2000-2010, onde o índice de desacoplamento começou a reduzir. No entanto, por não conseguir manter esse padrão de desacoplamento, seu índice retornou a subir e, atualmente, o Brasil encontra-se com dificuldade de atingir um estado de desacoplamento.

Nas Tabelas do Apêndice C podem ser visualizados os valores do Índice de desacoplamento e fator de desacoplamento de cada país.



**Figura 12 - Índice de desacoplamento dos países selecionados**  
 Fonte: Elaboração Própria

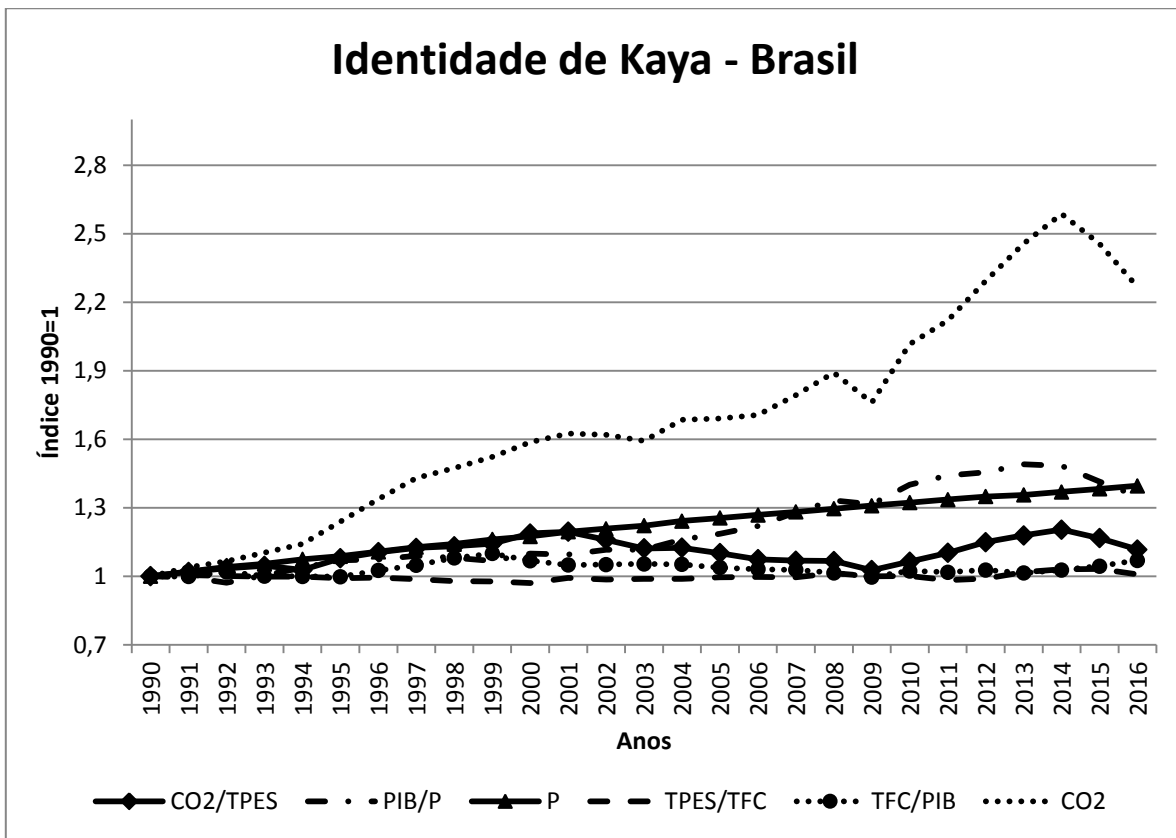
### **4.3. Análise Detalhada da Identidade de Kaya para os Países Selecionados**

#### **4.3.1. Brasil**

A Figura 13 apresenta a Identidade de Kaya do Brasil. Observe que foi utilizado o ano de 1990 como base, por isso o valor de todos os indicadores nesse ano é 1. De acordo com esse método, quando os indicadores atingem valores tendendo a serem menores do que 1 significa que está ocorrendo uma variação decrescente. Observe então que o país não obteve um resultado satisfatório em relação à evolução de sua emissão de CO<sub>2</sub>. Veja que todos os indicadores aumentaram o seu valor, o que acarretou em um crescimento de aproximadamente 127% nas emissões de CO<sub>2</sub> (veja na Figura 13 o indicador CO<sub>2</sub>).

Dentre os indicadores de Kaya avaliados um dos que apresentou maior crescimento foi o PIB per capita. O que é positivo para o desenvolvimento do país, no entanto, esse aumento foi acompanhado com um crescimento das emissões de CO<sub>2</sub>. Note também que no Brasil todos os outros indicadores aumentaram. Dentre eles, os que mais aumentaram foram a população (veja na Figura 13 o indicador P), e a intensidade carbônica (veja na Figura 13 o indicador CO<sub>2</sub>/TPES). Esses dois indicadores juntamente com o PIB per capita podem ser considerados os principais fatores para o crescimento das emissões brasileiras.

Veja também que a Figura 13 demonstra que no último ano estudado as emissões de CO<sub>2</sub> apresentaram uma leve queda, no entanto essa redução pode não ser por uma razão positiva, mas sim pela forte crise econômica na qual o país sofreu. Essa redução simultânea entre PIB per capita e CO<sub>2</sub> é um fator que demonstra que o país não conseguiu atingir um perfil de desacoplamento entre suas emissões e economia.



**Figura 13 - Identidade de Kaya do Brasil**  
**Fonte:** Elaboração Própria

#### 4.3.2. Canadá

Note agora que a Figura 14 demonstra a Identidade de Kaya do Canadá. Veja que as emissões de CO<sub>2</sub> apresentaram um crescimento de aproximadamente 29% (veja na Figura 14 o indicador CO<sub>2</sub>), no entanto em períodos recentes ela apresentou um comportamento estável seguido de uma pequena redução.

Note que os principais indicadores que corroboraram para o aumento das emissões foram o PIB per capita (veja na Figura 14 o indicador PIB/P) e a população (veja na Figura 14 o indicador P). Veja também que o primeiro cresceu mais do que as emissões de CO<sub>2</sub>, e diferentemente das emissões permaneceu aumentando nos últimos anos. Esse fato demonstra também o desacoplamento entre esses dois indicadores.

Perceba agora que os indicadores que apresentaram uma redução foram a intensidade energética, com uma redução de aproximadamente 34% (veja na Figura 14 o indicador TFC/PIB), e a intensidade carbônica com uma redução de aproximadamente 3% (veja na Figura 14 o indicador CO<sub>2</sub>/TPES). Sendo esses, os principais fatores responsáveis por mitigar o aumento das emissões segundo Kaya.

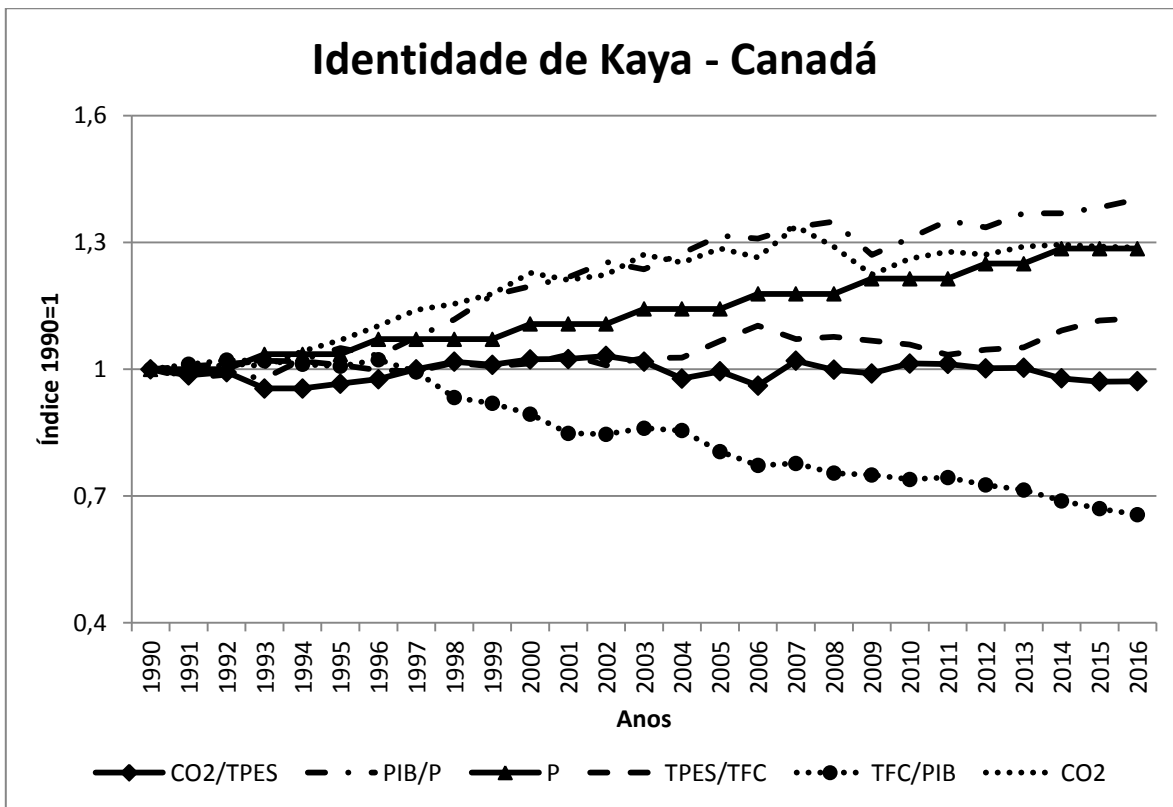


Figura 14 - Identidade de Kaya do Canadá  
 Fonte: Elaboração própria

#### 4.3.3. Chile

Perceba que a Figura 15 apresenta a Identidade de Kaya do Chile. Veja que o país apresentou uma forte tendência de crescimento das suas emissões de CO<sub>2</sub> nos vinte e seis anos analisados, elas aumentaram aproximadamente 193% (veja na Figura 15 o indicador CO<sub>2</sub>). Esse comportamento crescente das emissões pode explicado pelo aumento de praticamente todos os indicadores de Kaya.

Analisando de forma mais específica, os principais fatores que corroboraram para o aumento das emissões foram o aumento do PIB per capita e a população, respectivamente 158% e 38% aproximadamente (veja na Figura 15 os indicadores PIB/P e P). Já a intensidade energética, com sua redução de aproximadamente 33% (veja na Figura 15 o indicador TFC/PIB) apresentou-se como o principal fator opositor ao crescimento das emissões.



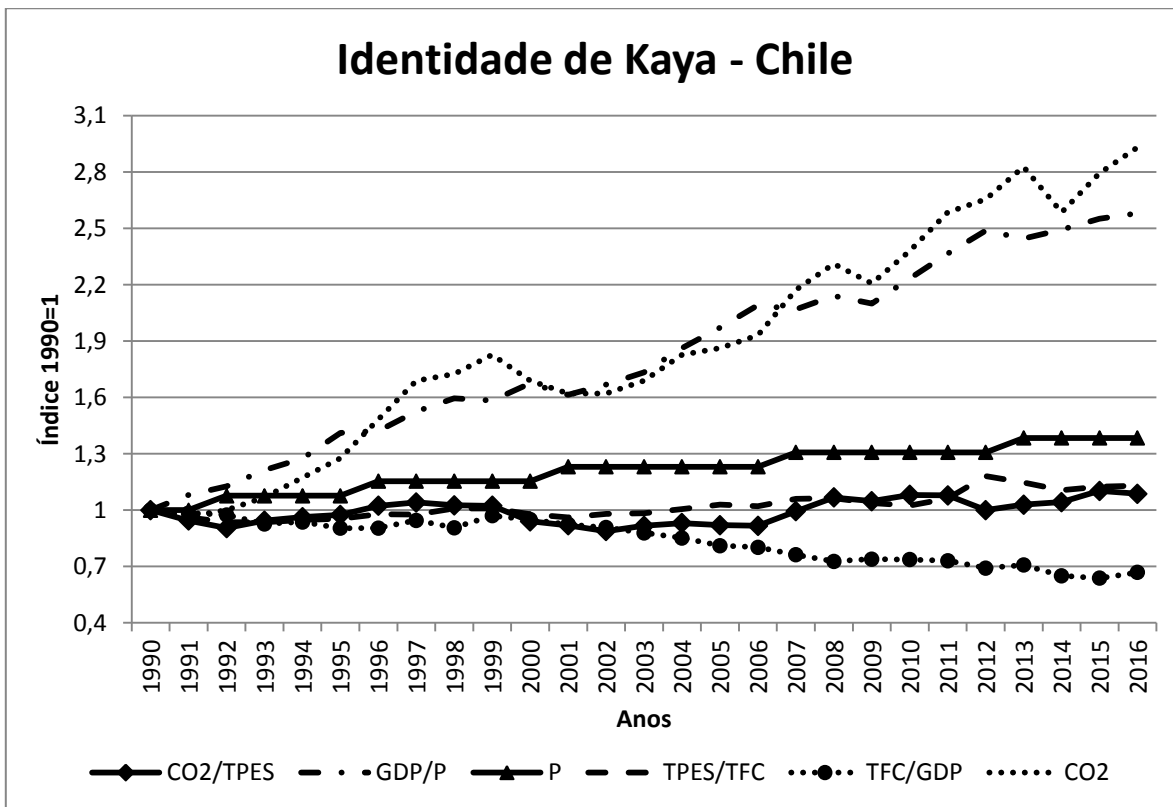


Figura 15 - Identidade de Kaya do Chile  
 Fonte: Elaboração própria

#### 4.3.4. México

Veja agora que a Figura 16 demonstra a Identidade de Kaya para o México. As emissões de CO<sub>2</sub> do país aumentaram em aproximadamente 73% (veja na Figura 16 o indicador CO<sub>2</sub>). Elas apresentaram um comportamento crescente marcado por certa instabilidade. Recentemente, o país apresentou uma redução de suas emissões no período de 2012-2014, mas em 2014-2016 retornou a aumentar.

Analisando os indicadores de Kaya a Figura 16 demonstra que os que mais aumentaram foram a população, PIB per capita e a intensidade carbônica com crescimento respectivo de aproximadamente 40%, 40% e 16% (veja na Figura 16 os indicadores P, P/PIB e CO<sub>2</sub>/TPES). Assim como o corrido com o Chile, o único indicador que apresentou uma redução foi a Intensidade energética, sendo esse valor de aproximadamente 25% (veja na Figura 16 o indicador TFC/PIB) e também ele sozinho não foi suficiente para reduzir as emissões.

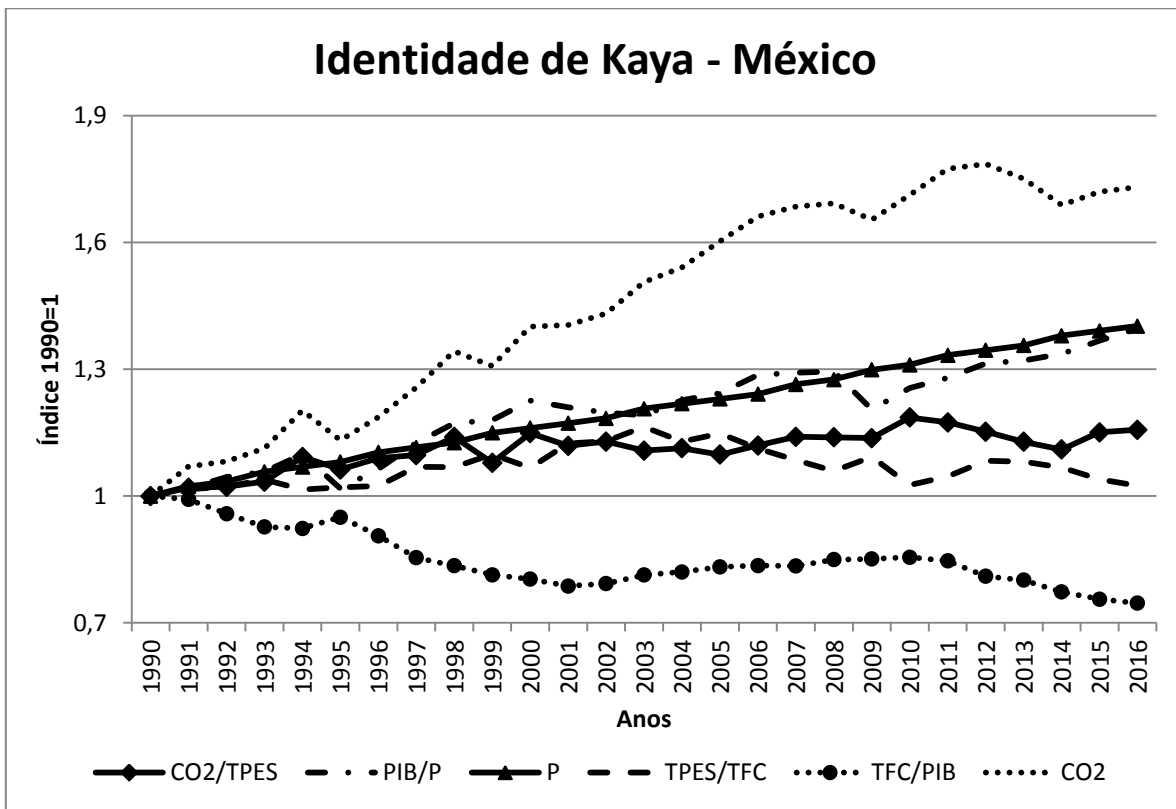
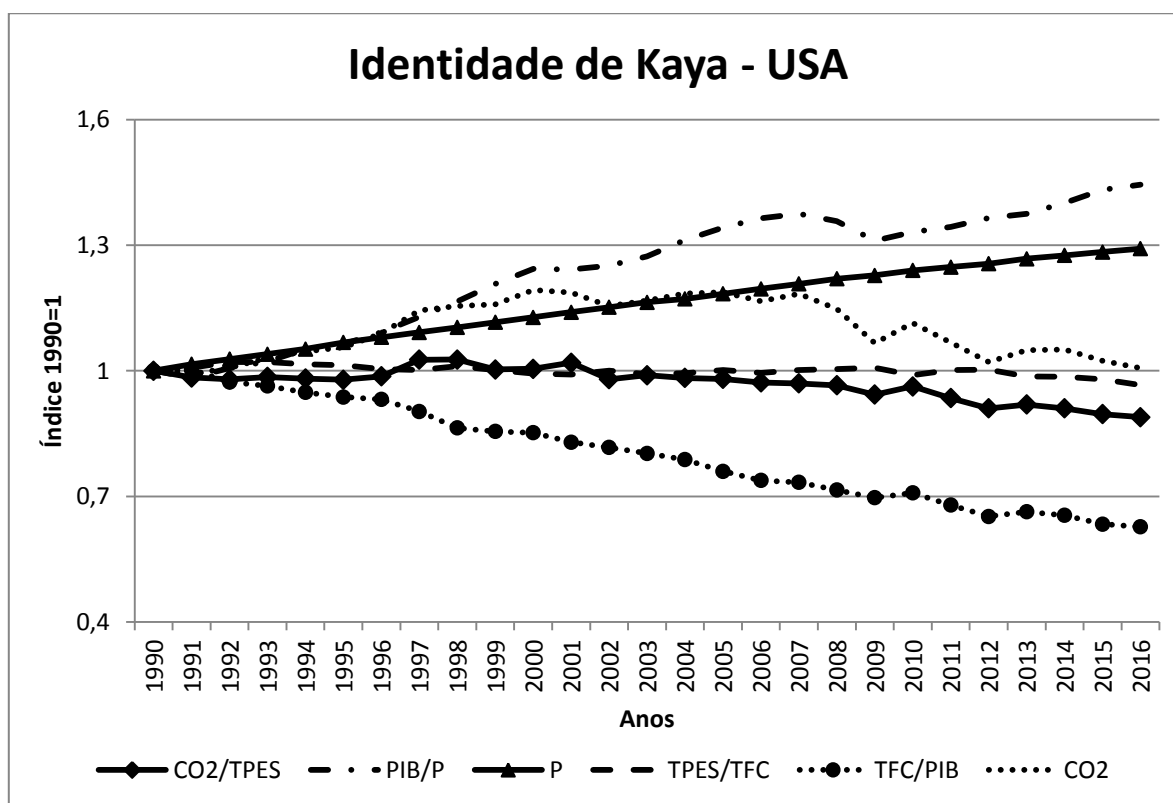


Figura 16 - Identidade de Kaya do México  
 Fonte: Elaboração própria

#### 4.3.5. USA

A Figura 17 apresenta a Identidade de Kaya do USA. Perceba que as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram apenas 1% no período entre 1990-2016 (Veja na Figura 17 o indicador CO<sub>2</sub>) e que a partir de 2007 elas apresentaram um comportamento decrescente. Se o país continuar com esse comportamento, futuramente, o indicador CO<sub>2</sub> atingirá valores menores do que 1, ou seja, suas emissões alcançaram valores menores do que o apresentado no ano de 1990. Note também que o país conseguiu manter esse padrão mesmo com grande crescimento econômico e populacional, o que demonstra que o país atingiu um padrão sólido de desacoplamento.

Veja que a Figura 17 demonstra também que esse comportamento de redução das emissões pode ser explicado pela diminuição simultânea de três indicadores de Kaya, sendo eles o TFC/PIB, CO<sub>2</sub>/TPES e TFC/TPES com valores respectivos de redução de aproximadamente 37%, 11% e 3%.



**Figura 17 - Identidade de Kaya dos USA**  
 Fonte: Elaboração própria

#### 4.3.6. Comparação da Identidade de Kaya para os países selecionados

Com o intuito de sintetizar os resultados obtidos analisando separadamente os países mediante a Identidade de Kaya, a Tabela 3 apresenta a variação total dos indicadores de Kaya e das emissões de CO<sub>2</sub> dos países selecionados. Perceba que o Brasil e o Chile foram os países que mais aumentaram suas emissões de CO<sub>2</sub> em termos percentuais, enquanto USA destaca com apenas, aproximadamente, 1% de aumento.

Analisando os indicadores de forma mais específica, veja que o PIB per capita e a população foram os que mais aumentaram em todos os países. Note também que os países da OCDE-Américas compartilharam o fato de apresentarem redução da sua intensidade energética. No entanto, observe que apenas a redução desse indicador não foi o suficiente para conter o aumento das emissões. Veja que o Chile e o México, os países que apenas reduziram esse indicador, obtiveram 193% e 73% de aumento das emissões respectivamente. Canadá e USA foram os que conseguiram reduzir mais de um indicador, conseqüentemente, foram os que apresentaram o menor aumento das emissões.

Sendo assim, conciliar um desenvolvimento sem respectivo aumento das emissões de CO<sub>2</sub> não tem sido algo fácil para os países. Dentre os selecionados os USA demonstraram maior êxito nessa tarefa, principalmente em períodos recentes. Analisando sob a ótica da Identidade de Kaya, o diferencial do país foi balancear o crescimento econômico e populacional com a redução da

intensidade energética, da intensidade carbônica e da relação entre energia total requerida pelo país pela energia total final consumida. Ou seja, o país conseguiu desassociar seu crescimento econômico do seu consumo energético, reduziu a relação entre emissões de CO<sub>2</sub> emitida pela energia e aumentou a eficiência da utilização de sua energia.

**Tabela 3** - Comparação dos indicadores de Kaya entre os países selecionados

Indicadores	Brasil	Canadá	Chile	México	USA
CO <sub>2</sub> /TPES	+12%	-3%	+9%	+16%	-11%
PIB/P	+35%	+40%	+158%	+40%	+44%
P	+40%	+29%	+38%	+40%	+29%
TPES/TFC	+1%	+12%	+13%	+2%	-3%
TFC/PIB	+7%	-34%	-33%	-25%	-37%
CO <sub>2</sub>	+ 127%	+29%	+193%	+73%	+1%

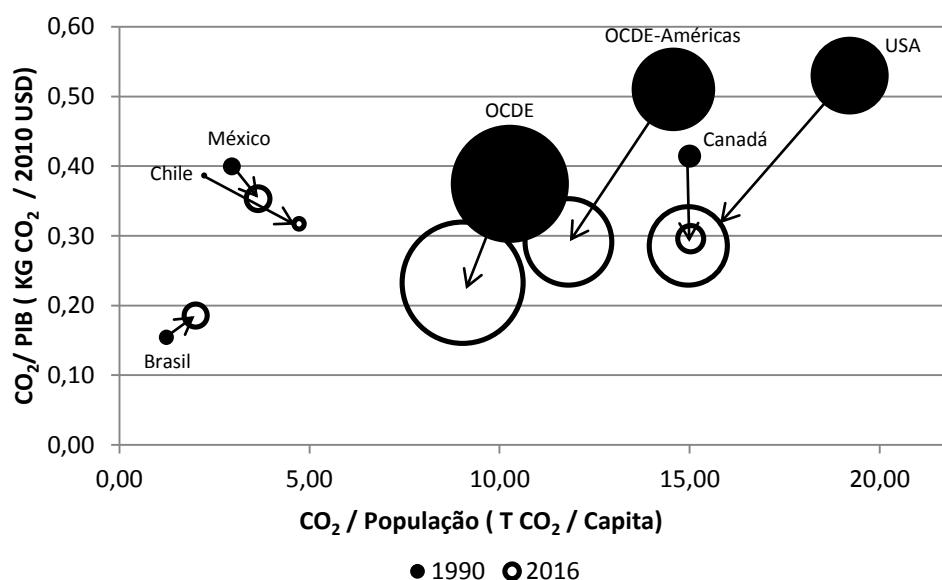
Fonte: Elaboração própria

#### 4.4. Perfil das Emissões de CO<sub>2</sub>

Com o intuito de verificar o perfil das emissões de CO<sub>2</sub> brasileiras e as dos países da OCDE-Américas, A Figura 18 demonstra a intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>/PIB), as emissões per capita e a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pelos países. Perceba que a emissão de CO<sub>2</sub> pode ser observada pelo diâmetro da circunferência. Já as setas demonstram a direção percorrida pelos países no ano de 1990 para o ano de 2016. Isso permite realizar uma avaliação da evolução dos países nesse período. Sendo assim, os países almejam evoluir percorrendo um caminho rumo ao vértice do gráfico, ponto (0,0) e diminuindo o tamanho do diâmetro da sua circunferência, ou seja, reduzir seu valor de emissão, e também a relação CO<sub>2</sub>/PIB e a emissão de CO<sub>2</sub> per capita.

Observe que o Brasil apresenta uma matriz energética relativamente limpa, pois está posicionado próximo ao vértice, com valores menores de intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> e emissões per capita. No entanto, o problema do país encontra-se na sua evolução, pois aumentou os três indicadores e, conseqüentemente, distanciou-se do vértice. Esse comportamento observado foi diferente de todos os outros países analisados. Verificando a evolução dos outros países, OCDE, OCDE-Américas e o USA percorreram o caminho desejado, trilhando sua evolução em direção ao vértice do gráfico, diminuindo os valores de intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> e emissão per capita. O Canadá obteve uma redução expressiva da sua intensidade de emissão de CO<sub>2</sub>, no entanto apresentou um pequeno aumento da sua emissão per capita. Já o Chile e o México conseguiram reduzir sua relação CO<sub>2</sub>/PIB, mas apresentaram um grande aumento nas suas emissões per capita.

Note que nenhum dos países conseguiu reduzir suas emissões quando comparado aos níveis do ano de 1990, sendo o Chile o país com menor valor de emissão.



**Figura 18** – Comparação do perfil de emissões - Brasil e países da OCDE-Américas  
**Fonte:** Elaboração Própria

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO

### 5.1. Conclusão

Os resultados apresentados por esta dissertação demonstraram que o Brasil apresentou um perfil de desacoplamento diferente dos países da OECD-Américas. Sendo o único país que obteve uma expansão econômica menor que o aumento das suas emissões de CO<sub>2</sub>.

Mediante os resultados obtidos pela aplicação do método de desacoplamento de Tapio com a análise em intervalos foi observado que USA e Canadá apresentaram os melhores perfil de desacoplamento. Sendo que o primeiro destaca-se pelo fato de apresentar o estado de desacoplamento forte nos últimos dezesseis anos analisados, ou seja, nesse período ele apresentou o padrão desejado de crescimento econômico com respectiva redução de suas emissões de CO<sub>2</sub>. O Chile e México apresentaram um comportamento instável, ambos não permaneceram no mesmo estado de desacoplamento em dois períodos temporais consecutivos. No entanto, no último analisado (2010-2016) eles melhoraram os seus estados de desacoplamento em relação aos seus respectivos apresentados no período anterior (2005-2010). O Chile passou de desacoplamento negativo fraco para acoplamento expansivo, enquanto o México passou de acoplamento expansivo para desacoplamento fraco. Já o Brasil apresentou na maioria dos períodos analisados o estado de desacoplamento negativo fraco. Seu melhor comportamento foi nos períodos 2000-2005 e 2005-2010 nos quais conseguiu o padrão de desacoplamento fraco. No entanto, não conseguiu sustentar esse padrão e apresentou novamente um crescimento das suas emissões de CO<sub>2</sub> maior do que sua expansão econômica no período seguinte (2010-2016).

Já a análise de Tapio nos períodos de 1990-2016 com o ano de 1990 como base demonstrou que os países da OCDE-Américas apresentaram o estado de desacoplamento fraco, enquanto o

Brasil permaneceu no Estado de desacoplamento negativo fraco. Dentre os países estudados o USA seguido do Canadá, logicamente, foram os que apresentaram os melhores perfis de desacoplamento. Esse resultado é observado mediante aos menores valores de elasticidade ( $\epsilon$ ) alcançados por eles, sendo esses 0,001 e 0,359 respectivamente. Os USA apresentam índices de que se permanecer nesse padrão demonstrado, futuramente, apresentará o estado de desacoplamento forte quando comparado ao ano de 1990.

O método da OCDE corroborou com os resultados obtidos pelo método de Tapio. De acordo com essa metodologia, o Brasil foi o único que permaneceu no estado de acoplamento, enquanto os outros países permaneceram no estado de desacoplamento relativo. A análise temporal do índice de desacoplamento, com o ano de 1990 como base, demonstrou que USA e Canadá foram os que apresentaram as maiores reduções desses indicadores, atingindo os valores de 0,54 e 0,71 respectivamente. Chile praticamente em todo o período analisado apresentou valores do seu índice de desacoplamento menores do que 1, no entanto apresentou oscilações no seu comportamento e no último período apresentou um aumento. Já o México apresentou dificuldade em apresentar o estado de desacoplamento de acordo com a análise realizada, no entanto em períodos recentes apresentou um comportamento de redução do seu índice. Ou seja, foi observado que os dois métodos demonstraram que o Brasil apresentou mais dificuldade em dissociar o seu crescimento econômico do aumento de suas emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto os países da OCDE-Américas estão apresentando mais facilidade nesse quesito.

Foi analisada a matriz energética brasileira de forma a se compreender a relação com os estados de desacoplamento negativo fraco e acoplamento apresentado pelo Brasil. Foi verificado que o país demonstrou ter uma matriz energética relativamente limpa quando comparado aos países. No entanto, houve um aumento maior da participação dos combustíveis fósseis em relação aos não fósseis. Os combustíveis fósseis representavam em 1990 52,06% da matriz e em 2016 esse valor passou para 55,28%. Dentre essas fontes a que apresentou o maior aumento foi o gás, sendo esse aumento de 8,28%.

Com a intenção de visualizar de forma mais específica as mudanças acontecidas na matriz energética brasileira, a matriz de geração de energia elétrica também foi analisada. A Análise demonstrou que a matriz elétrica tornou-se mais diversificada nos vinte e seis anos analisados, com crescimento tanto das fontes fósseis quanto das fontes não fósseis. Dentre elas o gás, biocombustível e a eólica foram as que demonstraram os maiores crescimentos, sendo que, essa última não apresentava valores de participação no ano de 1990.

Por fim, a análise de Kaya demonstrou o comportamento das emissões de CO<sub>2</sub> energéticas de cada país. Em geral todos os países da OCDE-Américas conseguiram reduzir pelo menos sua intensidade energética, enquanto o Brasil apresentou o aumento de todos os indicadores. Em todos

os países a população e o PIB per capita foram os indicadores que apresentaram os maiores aumentos. Os USA apresentaram apenas 1% de aumento das emissões de CO<sub>2</sub> no período analisado. Esse comportamento deu-se pelo padrão de redução das suas emissões de CO<sub>2</sub> apresentado a partir do ano de 2007. O diferencial do país foi equilibrar o crescimento econômico, e populacional com a redução da sua intensidade energética, intensidade carbônica e melhora da relação entre energia total primária requerida pela energia total final consumida. O Canadá apresentou um aumento de 29% das suas emissões e conseguiu reduzir sua intensidade energética e sua intensidade carbônica. Suas emissões de CO<sub>2</sub> apresentaram-se estáveis em períodos recentes com pequenas quedas. O Chile e o México reduziram apenas sua intensidade energética. Eles apresentaram um aumento de suas emissões de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 193% 73% respectivamente, sendo esse aumento do Chile o maior dentre todos os países analisados, em termos percentuais. No entanto, ele também foi o que apresentou o maior aumento percentual da sua economia.

Por fim, a Identidade de Kaya demonstrou a forte tendência que o Brasil apresenta no crescimento das suas emissões de CO<sub>2</sub> em relação ao seu crescimento econômico. Todos os indicadores evoluíram de forma a proporcionar o aumento nas emissões, sendo os principais: o PIB per capita, o crescimento populacional e a intensidade carbônica. Isso comprova que o país não está conseguindo obter um desenvolvimento com redução das suas emissões de CO<sub>2</sub> energéticas. Assim, foi demonstrado que mesmo com o crescimento das fontes limpas na matriz energética brasileira, que já existiam em grande quantidade no país, há a necessidade de investimento em novas tecnologias limpa para o planejamento e programação da operação das fontes renováveis e intermitentes no sistema de geração de energia no país.

## **5.2.Limitações do Trabalho**

A dificuldade de obtenção de dados atuais em uma única base de dados para realizar a comparação entre os países. Os dados utilizados para elaboração da pesquisa foram os mais atuais disponíveis base de dados da IEA, no entanto, eles apresentam uma defasagem dois anos, visto que o último ano disponível é o de 2016.

Como foi abordado, a energia não é a única fonte de emissão de CO<sub>2</sub>. Nesse trabalho apenas as emissões energéticas oriundas da queima de combustível fósseis foram utilizadas devido à disponibilidade da base de dados da IEA.

### 5.3.Sugestões para Trabalhos Futuros

Uma sugestão para trabalho futuro é a utilização do emprego de outras metodologias como *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) para extensão tanto da Identidade de Kaya como também para o método de Tapio. Essa utilização em conjunto permite a verificação de outros fatores que contribuem para as emissões de CO<sub>2</sub> e o desacoplamento entre as emissões e economia de um país.

A pesquisa pode ser replicada ou estendida verificando não somente as emissões e o desacoplamento do Brasil e países da OCDE-América, mas também outros países. Como por exemplo, países que fazem parte da OCDE e outros países considerados não OCDE.

Somados a isso, é proposto uma análise mais detalhada entre os países que apresentaram os melhores resultados de desacoplamento e o Brasil. Uma comparação entre as diferentes políticas de planejamento energético empregadas pode ser realizada também.

### 5.4.Produções Originadas neste Trabalho

**Quadro 4** - Produções científicas oriundas da dissertação

<b>Título</b>	<b>Estado</b>
Análise do Desacoplamento Entre Emissões de Dióxido de Carbono e o Produto Interno Bruto do Brasil	Publicado (III Congresso Fluminense de pós graduação)
Análise de Desacoplamento das Emissões de CO <sub>2</sub> e Crescimento Econômico	Publicado (XXI ENMC- Encontro Nacional de Modelagem Computacional)
	Convidado para publicação (Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão - Mundi ETG)
Energia e Desenvolvimento Sustentável no Brasil	Submetido (Boletim Petróleo, Royalties e Região)
Análise do Desacoplamento das Emissões de Dióxido de Carbono e da Expansão Econômica do Brasil nas Últimas Décadas	Submetido (Desenvolvimento e Meio Ambiente)

**Fonte:** Elaboração própria



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREONI, V.; GALMARINI, S. Drivers in CO<sub>2</sub> emissions variation: A decomposition analysis for 33 world countries. **Energy**, v. 103, p. 27–37, maio 2016.

AZEVEDO, V. G.; SARTORI, S.; CAMPOS, L. M. S. CO<sub>2</sub> emissions: A quantitative analysis among the BRICS nations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 107–115, jan. 2018.

BRIZGA, J.; FENG, K.; HUBACEK, K. Drivers of CO<sub>2</sub> emissions in the former Soviet Union: A country level IPAT analysis from 1990 to 2010. **Energy**, v. 59, p. 743–753, set. 2013.

CHEN, B. et al. Decoupling analysis on energy consumption, embodied GHG emissions and economic growth — The case study of Macao. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 662–672, jan. 2017.

CHEN, J. et al. Decomposition and decoupling analysis of CO<sub>2</sub> emissions in OECD. **Applied Energy**, v. 231, p. 937–950, dez. 2018.

DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005.

DAI, S.; ZHANG, M.; HUANG, W. Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emission from economic growth in BRICS countries. **Natural Hazards**, v. 84, n. 2, p. 1055–1073, nov. 2016.

DE FREITAS, L. C.; KANEKO, S. Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Brazil. **Ecological Economics**, v. 70, n. 8, p. 1459–1469, jun. 2011.

DONG, F. et al. Drivers Analysis of CO<sub>2</sub> Emissions from the Perspective of Carbon Density: The Case of Shandong Province, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 8, p. 1762, 16 ago. 2018.

DONG, K. et al. Driving forces and mitigation potential of global CO<sub>2</sub> emissions from 1980 through 2030: Evidence from countries with different income levels. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 335–343, fev. 2019.

EHRlich, P. R.; HOLDREN, J. P. Impact of Population Growth. **Science**, v. 171, n. 3977, p. 1212–1217, 1971.

ENEL GREEN POWER. **Nova Olinda: The Sun Shines Brighter in Brazil**. Disponível em: <<https://www.enelgreenpower.com/content/enel-egp/en/megamenu/media/news/2017/12/nova-olinda-the-sun-shines-brighter-in-brazil.html>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

ENGO, J. Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emissions from economic growth in Cameroon. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 35, p. 35451–35463, dez. 2018.

EPE; MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética e Ministério de Minas e Energia, 2017.

FAZENDA, M. **Governo brasileiro solicita ingresso à OCDE como país-membro**. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/noticias/2017/junho/governo-brasileiro-solicita-ingresso-a-ocde-como-pais-membro>>. Acesso em: 24 out. 2017.

FEIJÓ, G. D. R.; RANGEL, J. J. DE A. Análise do comportamento das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do Brasil e de outros países por meio da Identidade de Kaya e do Perfil de Emissões. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 46, 31 ago. 2018.

FINEL, N.; TAPIO, P. **Decoupling transport CO<sub>2</sub> from GDP**. Turku: Finland Futures Research Centre, 2012. v. 1

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e desenvolvimento na área energética. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, p. 91–97, jul. 2000.

HENRIQUES, S. T.; BOROWIECKI, K. J. The drivers of long-run CO<sub>2</sub> emissions in Europe, North America and Japan since 1800. **Energy Policy**, v. 101, p. 537–549, fev. 2017.

HUAMAN, R. N. E.; JUN, T. X. Energy related CO<sub>2</sub> emissions and the progress on CCS projects: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 368–385, mar. 2014.

IEA. **Energy and CO<sub>2</sub> emissions in the OECD**. Paris: International Energy Agency, 2017a.

IEA. **CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion: Overview**. Paris: International Energy Agency, 2017b.

IEA. **Key World Energy Statistics 2018**. Paris: International Energy Agency, 2018.

IEA. **International Energy Agency**. Disponível em: <<https://www.iea.org/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

JIANG, X.; GUAN, D. Determinants of global CO<sub>2</sub> emissions growth. **Applied Energy**, v. 184, p. 1132–1141, dez. 2016.

JIANG, X.; GUAN, D. The global CO<sub>2</sub> emissions growth after international crisis and the role of international trade. **Energy Policy**, v. 109, p. 734–746, 2017.

KAYA, Y. **Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of proposed scenarios**. . In: IPCC ENERGY AND INDUSTRY SUBGROUP, RESPONSE STRATEGIES WORKING GROUP. Paris: 8 maio 1989

LI, Y.-N. et al. Decoupling analysis of carbon emission from construction land in Shanghai. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 25–34, fev. 2019.

LIMA, F. et al. A cross-country assessment of energy-related CO<sub>2</sub> emissions: An extended Kaya Index Decomposition Approach. **Energy**, v. 115, p. 1361–1374, nov. 2016.

LIN, S.-J.; BEIDARI, M.; LEWIS, C. Energy Consumption Trends and Decoupling Effects between Carbon Dioxide and Gross Domestic Product in South Africa. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 15, n. 7, p. 2676–2687, 2015.

LUO, Y. et al. Decoupling CO<sub>2</sub> emissions from economic growth in agricultural sector across 30 Chinese provinces from 1997 to 2014. **Journal of Cleaner Production**, v. 159, p. 220–228, ago. 2017.

MA, C.; STERN, D. I. Biomass and China's carbon emissions: A missing piece of carbon decomposition. **Energy Policy**, v. 36, n. 7, p. 2517–2526, jul. 2008.

MA, M.; CAI, W. Do commercial building sector-derived carbon emissions decouple from the economic growth in Tertiary Industry? A case study of four municipalities in China. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 822–834, fev. 2019.

MAHONY, T. O. Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990 to 2010: An extended Kaya identity. **Energy Policy**, v. 59, p. 573–581, ago. 2013.

MENG, M.; FU, Y.; WANG, X. Decoupling, decomposition and forecasting analysis of China's fossil energy consumption from industrial output. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 752–759, mar. 2018.

MINNESMA, M. E. Dutch climate policy A victim of economic growth? **Climate Policy**, v. 3, n. 1, p. 45–56, jan. 2003.

MOUSAVI, B. et al. Driving forces of Iran's CO<sub>2</sub> emissions from energy consumption: An LMDI decomposition approach. **Applied Energy**, v. 206, p. 804–814, nov. 2017.

O' MAHONY, T.; DUFOUR, J. Tracking development paths: Monitoring driving forces and the impact of carbon-free energy sources in Spain. **Environmental Science & Policy**, v. 50, p. 62–73, jun. 2015.

OECD. **Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth**. Paris: Organisation for Economic Co-operation and development (OECD), 16 maio 2002. Disponível em: <[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=sg/sd\(2002\)1/final](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=sg/sd(2002)1/final)>.

OECD. **A General Procedure for Future Accessions**, 16 maio 2007. Disponível em: <[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=C\(2007\)31/Final](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=C(2007)31/Final)>. Acesso em: 12 mar. 2019

ROINIOTI, A.; KORONEOS, C. The decomposition of CO<sub>2</sub> emissions from energy use in Greece before and during the economic crisis and their decoupling from economic growth. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 448–459, set. 2017.

RÜSTEMOĞLU, H.; ANDRÉS, A. R. Determinants of CO<sub>2</sub> emissions in Brazil and Russia between 1992 and 2011: A decomposition analysis. **Environmental Science & Policy**, v. 58, p. 95–106, abr. 2016.

SCHANDL, H. et al. Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 45–56, set. 2016.

SUMABAT, A. K. et al. Decomposition analysis of Philippine CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion and electricity generation. **Applied Energy**, v. 164, p. 795–804, fev. 2016.

TAPIO, P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. **Transport Policy**, v. 12, n. 2, p. 137–151, mar. 2005.

UNFCCC. **Adoption of the Paris agreement**. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Changes, 2015. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>.

VEHMAS, J. et al. Europe in the global battle of sustainability: Rebound strikes back?—Advanced Sustainability Analysis. **Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series Discussion and Working Papers**, v. 7, p. 2003, 2003.

WANG, K.-M. The relationship between carbon dioxide emissions and economic growth: quantile panel-type analysis. **Quality & Quantity**, v. 47, n. 3, p. 1337–1366, abr. 2013.

WANG, Q.; LI, R.; JIANG, R. Decoupling and Decomposition Analysis of Carbon Emissions from Industry: A Case Study from China. **Sustainability**, v. 8, n. 10, p. 1059, 20 out. 2016.

WANG, W. et al. Empirical Research on Decoupling Relationship between Energy-Related Carbon Emission and Economic Growth in Guangdong Province Based on Extended Kaya Identity. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–11, 2014.

WU, Y. et al. Decoupling China's economic growth from carbon emissions: Empirical studies from 30 Chinese provinces (2001–2015). **Science of The Total Environment**, v. 656, p. 576–588, mar. 2019.

WU, Y.; ZHU, Q.; ZHU, B. Decoupling analysis of world economic growth and CO<sub>2</sub> emissions: A study comparing developed and developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 94–103, jul. 2018.

XIE, P.; GAO, S.; SUN, F. An analysis of the decoupling relationship between CO<sub>2</sub> emission in power industry and GDP in China based on LMDI method. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 598–606, fev. 2019.

YU, Y. et al. Eco-efficiency trends in China, 1978–2010: Decoupling environmental pressure from economic growth. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 177–184, jan. 2013.

ZHANG, Z. Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: An economic analysis and policy implications. **World Development**, v. 28, n. 4, p. 739–752, 2000.

ZHAO, X. et al. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: A sectoral factor decomposition analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3500–3516, jan. 2017.

## APÊNDICE A

**Tabela A 1- Dados do Brasil**

<b>Brasil</b>						
<b>Anos</b>	<b>PIB (bilhões de 2010 USD)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Mt de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CO<sub>2</sub>/PIB (kg CO<sub>2</sub>/2010 USD)</b>	<b>População (Milhões)</b>	<b>TPES (Mtoe)</b>	<b>TFC (Mtoe)</b>
1990	1193,00	184,00	0,15	149,00	140,21	111,34
1991	1211,00	191,00	0,16	152,00	142,86	112,83
1992	1205,00	196,00	0,16	155,00	144,35	114,58
1993	1261,00	203,00	0,16	157,00	147,97	117,76
1994	1329,00	210,00	0,16	160,00	155,77	123,88
1995	1387,00	228,00	0,16	162,00	161,10	129,12
1996	1418,00	246,00	0,17	165,00	169,67	135,63
1997	1466,00	263,00	0,18	168,00	178,28	143,40
1998	1471,00	271,00	0,18	170,00	182,56	148,20
1999	1478,00	280,00	0,19	173,00	186,70	151,65
2000	1539,00	292,00	0,19	175,00	187,45	153,35
2001	1560,00	299,00	0,19	178,00	190,72	152,66
2002	1608,00	298,00	0,19	180,00	195,77	157,76
2003	1626,00	293,00	0,18	182,00	198,98	159,89
2004	1720,00	310,00	0,18	185,00	210,05	168,79
2005	1775,00	311,00	0,18	187,00	215,34	171,86
2006	1845,00	314,00	0,17	189,00	222,83	177,43
2007	1957,00	330,00	0,17	191,00	235,47	187,74
2008	2057,00	348,00	0,17	193,00	248,59	194,74
2009	2054,00	324,00	0,16	195,00	240,46	190,95
2010	2209,00	371,00	0,17	197,00	265,89	210,94
2011	2297,00	390,00	0,17	199,00	269,64	218,02
2012	2341,00	422,00	0,18	201,00	279,87	224,41
2013	2411,00	452,00	0,19	202,00	292,17	228,05
2014	2423,00	476,00	0,20	204,00	301,27	232,25
2015	2332,00	452,00	0,19	206,00	295,21	227,28
2016	2248,00	417,00	0,19	208,00	284,52	224,27

**Fonte:** Adaptado da IEA (2019)

**Tabela A 2 – Dados do Canadá**

<b>Canadá</b>						
<b>Anos</b>	<b>PIB (bilhões de 2010 USD)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Mt de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CO<sub>2</sub>/PIB (kg CO<sub>2</sub>/2010 USD)</b>	<b>População (Milhões)</b>	<b>TPES (Mtoe)</b>	<b>TFC (Mtoe)</b>
1990	1014,00	420,00	0,41	28,00	211,28	161,80
1991	993,00	413,00	0,42	28,00	210,77	160,31
1992	1001,00	426,00	0,43	28,00	215,73	163,19
1993	1028,00	423,00	0,41	29,00	222,89	167,33
1994	1074,00	438,00	0,41	29,00	230,79	173,37
1995	1103,00	449,00	0,41	29,00	233,86	177,27
1996	1121,00	463,00	0,41	30,00	238,46	182,97
1997	1169,00	479,00	0,41	30,00	240,94	185,38
1998	1214,00	485,00	0,40	30,00	239,72	180,83
1999	1277,00	495,00	0,39	30,00	246,40	187,35
2000	1343,00	516,00	0,38	31,00	253,57	191,54
2001	1367,00	509,00	0,37	31,00	249,97	185,10
2002	1408,00	514,00	0,37	31,00	250,69	190,16
2003	1433,00	534,00	0,37	32,00	263,90	196,80
2004	1477,00	526,00	0,36	32,00	270,50	201,55
2005	1525,00	540,00	0,35	32,00	273,01	195,94
2006	1565,00	531,00	0,34	33,00	277,82	192,86
2007	1597,00	562,00	0,35	33,00	277,11	198,09
2008	1613,00	542,00	0,34	33,00	272,96	194,14
2009	1565,00	514,00	0,33	34,00	261,17	187,33
2010	1613,00	530,00	0,33	34,00	263,06	190,28
2011	1664,00	537,00	0,32	34,00	266,80	197,59
2012	1693,00	534,00	0,32	35,00	268,01	196,16
2013	1735,00	542,00	0,31	35,00	271,69	197,79
2014	1785,00	544,00	0,30	36,00	279,64	196,13
2015	1803,00	542,00	0,30	36,00	280,79	192,77
2016	1828,00	541,00	0,30	36,00	280,103	191,40

**Fonte:** Adaptado da IEA (2019)



**Tabela A 3 - Dados do Chile**

<b>Chile</b>						
<b>Anos</b>	<b>PIB (bilhões de 2010 USD)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Mt de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CO<sub>2</sub>/PIB (kg CO<sub>2</sub>/2010 USD)</b>	<b>População (Milhões)</b>	<b>TPES (Mtoe)</b>	<b>TFC (Mtoe)</b>
1990	75,00	29,00	0,39	13,00	14,01	11,10
1991	81,00	28,00	0,35	13,00	14,33	11,80
1992	91,00	29,00	0,32	14,00	15,49	13,12
1993	98,00	31,00	0,32	14,00	15,88	13,44
1994	103,00	34,00	0,33	14,00	17,07	14,28
1995	114,00	37,00	0,32	14,00	18,34	15,24
1996	123,00	43,00	0,35	15,00	20,32	16,46
1997	132,00	49,00	0,37	15,00	22,75	18,46
1998	138,00	50,00	0,36	15,00	23,56	18,51
1999	137,00	53,00	0,39	15,00	25,03	19,67
2000	145,00	49,00	0,34	15,00	25,17	20,38
2001	149,00	47,00	0,32	16,00	24,70	20,37
2002	154,00	47,00	0,31	16,00	25,57	20,66
2003	160,00	49,00	0,31	16,00	25,84	20,80
2004	172,00	53,00	0,31	16,00	27,51	21,66
2005	182,00	54,00	0,30	16,00	28,37	21,84
2006	193,00	56,00	0,29	16,00	29,53	22,90
2007	203,00	63,00	0,31	17,00	30,63	22,89
2008	210,00	67,00	0,32	17,00	30,33	22,59
2009	206,00	64,00	0,31	17,00	29,53	22,53
2010	219,00	69,00	0,32	17,00	30,85	23,86
2011	232,00	75,00	0,32	17,00	33,62	25,08
2012	244,00	77,00	0,32	17,00	37,20	24,97
2013	254,00	82,00	0,32	18,00	38,51	26,60
2014	259,00	75,00	0,29	18,00	34,77	24,91
2015	265,00	81,00	0,31	18,00	35,51	25,02
2016	268,00	85,00	0,32	18,00	37,80	26,49

**Fonte:** Adaptado da IEA (2019)

**Tabela A 4 - Dados do México**

<b>México</b>						
<b>Anos</b>	<b>PIB (bilhões de 2010 USD)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Mt de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CO<sub>2</sub>/PIB (kg CO<sub>2</sub>/2010 USD)</b>	<b>População (Milhões)</b>	<b>TPES (Mtoe)</b>	<b>TFC (Mtoe)</b>
1990	643,00	257,00	0,40	87,00	123,69	83,32
1991	670,00	275,00	0,41	89,00	129,86	86,13
1992	695,00	278,00	0,40	90,00	130,94	86,29
1993	719,00	286,00	0,40	92,00	133,14	86,37
1994	755,00	309,00	0,41	93,00	136,14	90,34
1995	707,00	291,00	0,41	94,00	131,79	87,02
1996	755,00	305,00	0,40	96,00	134,69	88,64
1997	807,00	323,00	0,40	97,00	141,74	89,33
1998	849,00	345,00	0,41	98,00	145,69	91,88
1999	872,00	336,00	0,39	100,00	149,90	91,94
2000	915,00	360,00	0,39	101,00	150,82	95,27
2001	912,00	361,00	0,40	102,00	155,28	93,02
2002	911,00	368,00	0,40	103,00	156,92	93,57
2003	924,00	387,00	0,42	105,00	168,16	97,36
2004	961,00	396,00	0,41	106,00	171,22	102,16
2005	983,00	412,00	0,42	107,00	180,59	105,99
2006	1027,00	427,00	0,42	108,00	183,56	111,19
2007	1050,00	433,00	0,41	110,00	182,78	113,51
2008	1062,00	435,00	0,41	111,00	183,84	116,92
2009	1006,00	425,00	0,42	113,00	179,91	110,93
2010	1058,00	440,00	0,42	114,00	178,54	117,25
2011	1097,00	456,00	0,42	116,00	186,93	120,32
2012	1136,00	459,00	0,40	117,00	191,73	119,25
2013	1152,00	450,00	0,39	118,00	191,92	119,57
2014	1185,00	434,00	0,37	120,00	188,18	118,72
2015	1223,00	442,00	0,36	121,00	184,89	119,81
2016	1259,00	445,00	0,35	122,00	185,16	121,77

**Fonte:** Adaptado da IEA (2019)

**Tabela A 5 - Dados do USA**

<b>Estados Unidos</b>						
<b>Anos</b>	<b>PIB (bilhões de 2010 USD)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Mt de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>CO<sub>2</sub>/PIB (kg CO<sub>2</sub>/2010 USD)</b>	<b>População (Milhões)</b>	<b>TPES (Mtoe)</b>	<b>TFC (Mtoe)</b>
1990	9064,00	4803,00	0,53	250,00	1915,02	1293,51
1991	9058,00	4766,00	0,53	254,00	1930,75	1295,12
1992	9380,00	4838,00	0,52	257,00	1969,47	1302,82
1993	9637,00	4953,00	0,51	260,00	2004,12	1325,52
1994	10026,00	5024,00	0,50	263,00	2041,25	1357,15
1995	10299,00	5074,00	0,49	267,00	2067,31	1377,75
1996	10690,00	5231,00	0,49	270,00	2113,28	1421,48
1997	11170,00	5495,00	0,49	273,00	2134,45	1439,35
1998	11667,00	5545,00	0,48	276,00	2152,65	1437,86
1999	12213,00	5564,00	0,46	279,00	2210,94	1490,48
2000	12713,00	5730,00	0,45	282,00	2273,78	1546,29
2001	12837,00	5702,00	0,44	285,00	2230,68	1519,91
2002	13066,00	5545,00	0,42	288,00	2256,07	1523,51
2003	13433,00	5611,00	0,42	291,00	2261,30	1539,36
2004	13942,00	5689,00	0,41	293,00	2307,91	1567,72
2005	14408,00	5703,00	0,40	296,00	2318,92	1563,08
2006	14792,00	5602,00	0,38	299,00	2296,93	1558,70
2007	15055,00	5687,00	0,38	302,00	2337,47	1576,08
2008	15011,00	5513,00	0,37	305,00	2277,24	1532,04
2009	14595,00	5121,00	0,35	307,00	2164,84	1451,97
2010	14964,00	5352,00	0,36	310,00	2216,89	1512,99
2011	15204,00	5128,00	0,34	312,00	2186,79	1474,08
2012	15542,00	4903,00	0,32	314,00	2147,61	1446,26
2013	15803,00	5039,00	0,32	317,00	2184,64	1495,49
2014	16209,00	5047,00	0,31	319,00	2210,70	1515,12
2015	16673,00	4920,00	0,30	321,00	2187,66	1507,75
2016	16920,00	4833,00	0,29	323,00	2166,623	1515,04

**Fonte:** Adaptado da IEA (2019)

## APÊNDICE B

**Tabela B 1 - Método de Tapio aplicado em intervalos de tempo para o Brasil**

<b>Método de Tapio (Brasil)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	16,26%	23,91%	1,47	Desacoplamento negativo fraco
1995-2000	10,96%	28,07%	2,56	Desacoplamento negativo fraco
2000-2005	15,33%	6,51%	0,42	Desacoplamento fraco
2005-2010	24,45%	19,29%	0,79	Desacoplamento fraco
2010-2016	1,77%	12,40%	7,02	Desacoplamento negativo fraco

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 2 - Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para o Brasil**

<b>Método Tapio (Brasil)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	1,51%	3,80%	2,52	Desacoplamento negativo fraco
1991-1992	-0,50%	2,62%	-5,28	Desacoplamento negativo forte
1992-1993	4,65%	3,57%	0,77	Desacoplamento fraco
1993-1994	5,39%	3,45%	0,64	Desacoplamento fraco
1994-1995	4,36%	8,57%	1,96	Desacoplamento negativo fraco
1995-1996	2,24%	7,89%	3,53	Desacoplamento negativo fraco
1996-1997	3,39%	6,91%	2,04	Desacoplamento negativo fraco
1997-1998	0,34%	3,04%	8,92	Desacoplamento negativo fraco
1998-1999	0,48%	3,32%	6,98	Desacoplamento negativo fraco
1999-2000	4,13%	4,29%	1,04	Acoplamento expansivo
2000-2001	1,36%	2,40%	1,76	Desacoplamento negativo fraco
2001-2002	3,08%	-0,33%	-0,11	Desacoplamento forte
2002-2003	1,12%	-1,68%	-1,50	Desacoplamento forte
2003-2004	5,78%	5,80%	1,00	Acoplamento expansivo
2004-2005	3,20%	0,32%	0,10	Desacoplamento fraco
2005-2006	3,94%	0,96%	0,24	Desacoplamento fraco
2006-2007	6,07%	5,10%	0,84	Acoplamento expansivo
2007-2008	5,11%	5,45%	1,07	Acoplamento expansivo
2008-2009	-0,15%	-6,90%	47,29	Desacoplamento recessivo
2009-2010	7,55%	14,51%	1,92	Desacoplamento negativo fraco
2010-2011	3,98%	5,12%	1,29	Desacoplamento negativo fraco
2011-2012	1,92%	8,21%	4,28	Desacoplamento negativo fraco
2012-2013	2,99%	7,11%	2,38	Desacoplamento negativo fraco
2013-2014	0,50%	5,31%	10,67	Desacoplamento negativo fraco
2014-2015	-3,76%	-5,04%	1,34	Desacoplamento recessivo
2015-2016	-3,60%	-7,74%	2,15	Desacoplamento recessivo

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 3 - Método de Tapio em intervalos de tempo para o Canadá**

<b>Tápico (Canadá)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	8,78%	6,90%	0,79	Desacoplamento fraco
1995-2000	21,76%	14,92%	0,69	Desacoplamento fraco
2000-2005	13,55%	4,65%	0,34	Desacoplamento fraco
2005-2010	5,77%	-1,85%	-0,32	Desacoplamento forte
2010-2016	13,33%	2,08%	0,16	Desacoplamento fraco

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 4- Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para o Canadá**

<b>Método de Tapio (Canadá)</b>				
<b>Intervalos de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	-2,07%	-1,67%	0,80	Acoplamento recessivo
1991-1992	0,81%	3,15%	3,91	Desacoplamento negativo fraco
1992-1993	2,70%	-0,70%	-0,26	Desacoplamento forte
1993-1994	4,47%	3,55%	0,79	Desacoplamento fraco
1994-1995	2,70%	2,51%	0,93	Acoplamento expansivo
1995-1996	1,63%	3,12%	1,91	Desacoplamento negativo fraco
1996-1997	4,28%	3,46%	0,81	Acoplamento expansivo
1997-1998	3,85%	1,25%	0,33	Desacoplamento fraco
1998-1999	5,19%	2,06%	0,40	Desacoplamento fraco
1999-2000	5,17%	4,24%	0,82	Acoplamento expansivo
2000-2001	1,79%	-1,36%	-0,76	Desacoplamento forte
2001-2002	3,00%	0,98%	0,33	Desacoplamento fraco
2002-2003	1,78%	3,89%	2,19	Desacoplamento negativo fraco
2003-2004	3,07%	-1,50%	-0,49	Desacoplamento forte
2004-2005	3,25%	2,66%	0,82	Acoplamento expansivo
2005-2006	2,62%	-1,67%	-0,64	Desacoplamento forte
2006-2007	2,04%	5,84%	2,86	Desacoplamento negativo fraco
2007-2008	1,00%	-3,56%	-3,55	Desacoplamento forte
2008-2009	-2,98%	-5,17%	1,74	Desacoplamento recessivo
2009-2010	3,07%	3,11%	1,01	Acoplamento expansivo
2010-2011	3,16%	1,32%	0,42	Desacoplamento fraco
2011-2012	1,74%	-0,56%	-0,32	Desacoplamento forte
2012-2013	2,48%	1,50%	0,60	Desacoplamento fraco
2013-2014	2,88%	0,37%	0,13	Desacoplamento fraco
2014-2015	1,01%	-0,37%	-0,36	Desacoplamento forte
2015-2016	1,39%	-0,18%	-0,13	Desacoplamento forte

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 5 - Método de Tapio em intervalos de tempo para o Chile**

<b>Método de Tapio (Chile)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	52,00%	27,59%	0,53	Desacoplamento fraco
1995-2000	27,19%	32,43%	1,19	Acoplamento expansivo
2000-2005	25,52%	10,20%	0,40	Desacoplamento fraco
2005-2010	20,33%	27,78%	1,37	Desacoplamento negativo fraco
2010-2016	22,37%	23,19%	1,04	Acoplamento expansivo

Fonte: Elaboração própria

**Tabela B 6 - Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para o Chile**

<b>Método de Tapio (Chile)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	8,00%	-3,45%	-0,43	Desacoplamento forte
1991-1992	12,35%	3,57%	0,29	Desacoplamento fraco
1992-1993	7,69%	6,90%	0,90	Acoplamento expansivo
1993-1994	5,10%	9,68%	1,90	Desacoplamento negativo fraco
1994-1995	10,68%	8,82%	0,83	Acoplamento expansivo
1995-1996	7,89%	16,22%	2,05	Desacoplamento negativo fraco
1996-1997	7,32%	13,95%	1,91	Desacoplamento negativo fraco
1997-1998	4,55%	2,04%	0,45	Desacoplamento fraco
1998-1999	-0,72%	6,00%	-8,28	Desacoplamento negativo forte
1999-2000	5,84%	-7,55%	-1,29	Desacoplamento forte
2000-2001	2,76%	-4,08%	-1,48	Desacoplamento forte
2001-2002	3,36%	0,00%	0,00	-
2002-2003	3,90%	4,26%	1,09	Acoplamento expansivo
2003-2004	7,50%	8,16%	1,09	Acoplamento expansivo
2004-2005	5,81%	1,89%	0,32	Desacoplamento fraco
2005-2006	6,04%	3,70%	0,61	Desacoplamento fraco
2006-2007	5,18%	12,50%	2,41	Desacoplamento negativo fraco
2007-2008	3,45%	6,35%	1,84	Desacoplamento negativo fraco
2008-2009	-1,90%	-4,48%	2,35	Desacoplamento recessivo
2009-2010	6,31%	7,81%	1,24	Desacoplamento negativo fraco
2010-2011	5,94%	8,70%	1,46	Desacoplamento negativo fraco
2011-2012	5,17%	2,67%	0,52	Desacoplamento fraco
2012-2013	4,10%	6,49%	1,58	Desacoplamento negativo fraco
2013-2014	1,97%	-8,54%	-4,34	Desacoplamento forte
2014-2015	2,32%	8,00%	3,45	Desacoplamento negativo fraco
2015-2016	1,13%	4,94%	4,36	Desacoplamento negativo fraco

Fonte: Elaboração própria

**Tabela B 7 - Método de Tapio em intervalos de tempo para o México**

<b>Método de Tapio (México)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	9,95%	13,23%	1,33	Desacoplamento negativo fraco
1995-2000	29,42%	23,71%	0,81	Acoplamento expansivo
2000-2005	7,43%	14,44%	1,94	Desacoplamento negativo fraco
2005-2010	7,63%	6,80%	0,89	Acoplamento expansivo
2010-2016	19,00%	1,14%	0,06	Desacoplamento fraco

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 8 - Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para o México**

<b>Método de Tapio (México)</b>				
<b>Intervalos de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	4,20%	7,00%	1,67	Desacoplamento negativo fraco
1991-1992	3,73%	1,09%	0,29	Desacoplamento fraco
1992-1993	3,45%	2,88%	0,83	Acoplamento expansivo
1993-1994	5,01%	8,04%	1,61	Desacoplamento negativo fraco
1994-1995	-6,36%	-5,83%	0,92	Acoplamento recessivo
1995-1996	6,79%	4,81%	0,71	Desacoplamento fraco
1996-1997	6,89%	5,90%	0,86	Acoplamento expansivo
1997-1998	5,20%	6,81%	1,31	Desacoplamento negativo fraco
1998-1999	2,71%	-2,61%	-0,96	Desacoplamento forte
1999-2000	4,93%	7,14%	1,45	Desacoplamento negativo fraco
2000-2001	-0,33%	0,28%	-0,85	Desacoplamento negativo forte
2001-2002	-0,11%	1,94%	-17,68	Desacoplamento negativo forte
2002-2003	1,43%	5,16%	3,62	Desacoplamento negativo fraco
2003-2004	4,00%	2,33%	0,58	Desacoplamento fraco
2004-2005	2,29%	4,04%	1,76	Desacoplamento negativo fraco
2005-2006	4,48%	3,64%	0,81	Acoplamento expansivo
2006-2007	2,24%	1,41%	0,63	Desacoplamento fraco
2007-2008	1,14%	0,46%	0,40	Desacoplamento fraco
2008-2009	-5,27%	-2,30%	0,44	Desacoplamento negativo recessivo
2009-2010	5,17%	3,53%	0,68	Desacoplamento fraco
2010-2011	3,69%	3,64%	0,99	Acoplamento expansivo
2011-2012	3,56%	0,66%	0,19	Desacoplamento fraco
2012-2013	1,41%	-1,96%	-1,39	Desacoplamento forte
2013-2014	2,86%	-3,56%	-1,24	Desacoplamento forte
2014-2015	3,21%	1,84%	0,57	Desacoplamento fraco
2014-2016	2,94%	0,68%	0,23	Desacoplamento fraco

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 9- Método de Tapio em intervalos de tempo para o USA**

<b>Método de Tapio (USA)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	13,63%	5,64%	0,41	Desacoplamento fraco
1995-2000	23,44%	12,93%	0,55	Desacoplamento fraco
2000-2005	13,33%	-0,47%	-0,04	Desacoplamento forte
2005-2010	3,86%	-6,15%	-1,59	Desacoplamento forte
2010-2016	13,07%	-9,70%	-0,74	Desacoplamento forte

Fonte: Elaboração própria

**Tabela B 10 - Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para o USA**

<b>Método de Tapio (USA)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	-0,07%	-0,77%	11,64	Desacoplamento recessivo
1991-1992	3,55%	1,51%	0,42	Desacoplamento fraco
1992-1993	2,74%	2,38%	0,87	Acoplamento expansivo
1993-1994	4,04%	1,43%	0,36	Desacoplamento fraco
1994-1995	2,72%	1,00%	0,37	Desacoplamento fraco
1995-1996	3,80%	3,09%	0,82	Acoplamento expansivo
1996-1997	4,49%	5,05%	1,12	Acoplamento expansivo
1997-1998	4,45%	0,91%	0,20	Desacoplamento fraco
1998-1999	4,68%	0,34%	0,07	Desacoplamento fraco
1999-2000	4,09%	2,98%	0,73	Desacoplamento fraco
2000-2001	0,98%	-0,49%	-0,50	Desacoplamento forte
2001-2002	1,78%	-2,75%	-1,54	Desacoplamento forte
2002-2003	2,81%	1,19%	0,42	Desacoplamento fraco
2003-2004	3,79%	1,39%	0,37	Desacoplamento fraco
2004-2005	3,34%	0,25%	0,07	Desacoplamento fraco
2005-2006	2,67%	-1,77%	-0,66	Desacoplamento forte
2006-2007	1,78%	1,52%	0,85	Acoplamento expansivo
2007-2008	-0,29%	-3,06%	10,47	Desacoplamento recessivo
2008-2009	-2,77%	-7,11%	2,57	Desacoplamento recessivo
2009-2010	2,53%	4,51%	1,78	Desacoplamento negativo fraco
2010-2011	1,60%	-4,19%	-2,61	Desacoplamento forte
2011-2012	2,22%	-4,39%	-1,97	Desacoplamento forte
2012-2013	1,68%	2,77%	1,65	Desacoplamento negativo fraco
2013-2014	2,57%	0,16%	0,06	Desacoplamento fraco
2014-2015	2,86%	-2,52%	-0,88	Desacoplamento forte
2015-2016	1,48%	-1,77%	-1,19	Desacoplamento forte

Fonte: Elaboração própria



**Tabela B 11 - Método de Tapio em intervalo de tempo para a OCDE-Américas**

<b>Método de Tapio (OCDE-Américas)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	13,22%	6,21%	0,47	Desacoplamento fraco
1995-2000	23,66%	13,72%	0,58	Desacoplamento fraco
2000-2005	13,11%	0,84%	0,06	Desacoplamento fraco
2005-2010	4,43%	-4,75%	-1,07	Desacoplamento forte
2010-2016	13,56%	-7,60%	-0,56	Desacoplamento forte

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 12 - Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para a OCDE-Américas**

<b>Método de Tapio (OCDE-Américas)</b>				
<b>Intervalos de anos</b>	<b><math>\Delta</math>PIB (%)</b>	<b><math>\Delta</math>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	0,05%	-0,49%	-10,58	Desacoplamento forte
1991-1992	3,38%	1,62%	0,48	Desacoplamento fraco
1992-1993	2,82%	2,19%	0,78	Desacoplamento fraco
1993-1994	4,15%	1,98%	0,48	Desacoplamento fraco
1994-1995	2,22%	0,78%	0,35	Desacoplamento fraco
1995-1996	3,80%	3,25%	0,85	Acoplamento expansivo
1996-1997	4,63%	5,05%	1,09	Acoplamento expansivo
1997-1998	4,44%	1,26%	0,28	Desacoplamento fraco
1998-1999	4,56%	0,33%	0,07	Desacoplamento fraco
1999-2000	4,26%	3,21%	0,75	Desacoplamento fraco
2000-2001	0,98%	-0,54%	-0,55	Desacoplamento forte
2001-2002	1,80%	-2,16%	-1,20	Desacoplamento forte
2002-2003	2,65%	1,62%	0,61	Desacoplamento fraco
2003-2004	3,76%	1,28%	0,34	Desacoplamento fraco
2004-2005	3,30%	0,69%	0,21	Desacoplamento fraco
2005-2006	2,81%	-1,40%	-0,50	Desacoplamento forte
2006-2007	1,87%	1,95%	1,04	Acoplamento expansivo
2007-2008	-0,05%	-2,80%	55,75	Desacoplamento recessivo
2008-2009	-2,92%	-6,57%	2,25	Desacoplamento recessivo
2009-2010	2,77%	4,34%	1,57	Desacoplamento negativo fraco
2010-2011	1,92%	-3,04%	-1,58	Desacoplamento forte
2011-2012	2,30%	-3,60%	-1,56	Desacoplamento forte
2012-2013	1,76%	2,31%	1,31	Desacoplamento negativo fraco
2013-2014	2,60%	-0,20%	-0,08	Desacoplamento forte
2014-2015	2,71%	-1,89%	-0,70	Desacoplamento forte
2015-2016	1,56%	-1,34%	-0,86	Desacoplamento forte

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 13 - Método de Tapio em intervalos de tempo para a OCDE**

<b>Método de Tapio (OCDE)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b>ΔPIB (%)</b>	<b>ΔCO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990- 1995	10,87%	4,47%	0,41	Desacoplamento fraco
1995-2000	17,65%	8,85%	0,50	Desacoplamento fraco
2000-2005	11,26%	2,43%	0,22	Desacoplamento fraco
2005-2010	4,92%	-3,86%	-0,78	Desacoplamento forte
2010-2016	11,21%	-6,05%	-0,54	Desacoplamento forte

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela B 14 - Método de Tapio aplicado com intervalo de um ano para a OCDE**

<b>Método de Tapio (OECD)</b>				
<b>Intervalo de anos</b>	<b>ΔPIB (%)</b>	<b>ΔCO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>e</b>	<b>Estados</b>
1990-1991	1,29%	0,33%	0,25	Desacoplamento fraco
1991-1992	2,11%	0,36%	0,17	Desacoplamento fraco
1992-1993	1,24%	0,82%	0,66	Desacoplamento fraco
1993-1994	3,10%	1,57%	0,51	Desacoplamento fraco
1994-1995	2,70%	1,32%	0,49	Desacoplamento fraco
1995-1996	3,06%	3,25%	1,06	Acoplamento expansivo
1996-1997	3,47%	2,11%	0,61	Desacoplamento fraco
1997-1998	2,82%	0,08%	0,03	Desacoplamento fraco
1998-1999	3,21%	0,53%	0,16	Desacoplamento fraco
1999-2000	3,96%	2,62%	0,66	Desacoplamento fraco
2000-2001	1,42%	0,20%	0,14	Desacoplamento fraco
2001-2002	1,55%	-0,87%	-0,56	Desacoplamento forte
2002-2003	1,99%	1,82%	0,92	Acoplamento expansivo
2003-2004	3,16%	0,96%	0,31	Desacoplamento fraco
2004-2005	2,69%	0,30%	0,11	Desacoplamento fraco
2005-2006	2,96%	-0,55%	-0,19	Desacoplamento forte
2006-2007	2,51%	1,28%	0,51	Desacoplamento fraco
2007-2008	0,15%	-2,58%	-17,32	Desacoplamento forte
2008-2009	-3,52%	-5,83%	1,66	Desacoplamento recessivo
2009-2010	2,88%	4,05%	1,40	Desacoplamento negativo fraco
2010-2011	1,85%	-2,12%	-1,15	Desacoplamento forte
2011-2012	1,23%	-1,52%	-1,24	Desacoplamento forte
2012-2013	1,42%	0,56%	0,40	Desacoplamento fraco
2013-2014	2,07%	-2,03%	-0,98	Desacoplamento forte
2014-2015	2,45%	-0,58%	-0,24	Desacoplamento forte
2015-2016	1,71%	-0,50%	-0,29	Desacoplamento forte

**Fonte:** Elaboração própria

## APÊNDICE C

**Tabela C1 - Índice de desacoplamento e Fator de desacoplamento: Brasil, Canadá e Chile**

Períodos	Brasil		Canadá		Chile	
	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento
1990-1991	1,02	-0,02	1,00	0,00	0,89	0,11
1990-1992	1,05	-0,05	1,03	-0,03	0,82	0,18
1990-1993	1,04	-0,04	0,99	0,01	0,82	0,18
1990-1994	1,02	-0,02	0,98	0,02	0,85	0,15
1990-1995	1,07	-0,07	0,98	0,02	0,84	0,16
1990-1996	1,12	-0,12	1,00	0,00	0,90	0,10
1990-1997	1,16	-0,16	0,99	0,01	0,96	0,04
1990-1998	1,19	-0,19	0,96	0,04	0,94	0,06
1990-1999	1,23	-0,23	0,94	0,06	1,00	0,00
1990-2000	1,23	-0,23	0,93	0,07	0,87	0,13
1990-2001	1,24	-0,24	0,90	0,10	0,82	0,18
1990-2002	1,20	-0,20	0,88	0,12	0,79	0,21
1990-2003	1,17	-0,17	0,90	0,10	0,79	0,21
1990-2004	1,17	-0,17	0,86	0,14	0,80	0,20
1990-2005	1,14	-0,14	0,85	0,15	0,77	0,23
1990-2006	1,10	-0,10	0,82	0,18	0,75	0,25
1990-2007	1,09	-0,09	0,85	0,15	0,80	0,20
1990-2008	1,10	-0,10	0,81	0,19	0,83	0,17
1990-2009	1,02	-0,02	0,79	0,21	0,80	0,20
1990-2010	1,09	-0,09	0,79	0,21	0,81	0,19
1990-2011	1,10	-0,10	0,78	0,22	0,84	0,16
1990-2012	1,17	-0,17	0,76	0,24	0,82	0,18
1990-2013	1,22	-0,22	0,75	0,25	0,83	0,17
1990-2014	1,27	-0,27	0,74	0,26	0,75	0,25
1990-2015	1,26	-0,26	0,73	0,27	0,79	0,21
1990-2016	1,20	-0,20	0,71	0,29	0,82	0,18

**Fonte:** Elaboração própria

**Tabela C 2 - Índice de desacoplamento e Fator de desacoplamento: México e USA**

Períodos	México		USA	
	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento
1990-1991	1,03	-0,03	0,99	0,01
1990-1992	1,00	0,00	0,97	0,03
1990-1993	1,00	0,00	0,97	0,03
1990-1994	1,02	-0,02	0,95	0,05
1990-1995	1,03	-0,03	0,93	0,07
1990-1996	1,01	-0,01	0,92	0,08
1990-1997	1,00	0,00	0,93	0,07
1990-1998	1,02	-0,02	0,90	0,10
1990-1999	0,96	0,04	0,86	0,14
1990-2000	0,98	0,02	0,85	0,15
1990-2001	0,99	0,01	0,84	0,16
1990-2002	1,01	-0,01	0,80	0,20
1990-2003	1,05	-0,05	0,79	0,21
1990-2004	1,03	-0,03	0,77	0,23
1990-2005	1,05	-0,05	0,75	0,25
1990-2006	1,04	-0,04	0,71	0,29
1990-2007	1,03	-0,03	0,71	0,29
1990-2008	1,02	-0,02	0,69	0,31
1990-2009	1,06	-0,06	0,66	0,34
1990-2010	1,04	-0,04	0,67	0,33
1990-2011	1,04	-0,04	0,64	0,36
1990-2012	1,01	-0,01	0,60	0,40
1990-2013	0,98	0,02	0,60	0,40
1990-2014	0,92	0,08	0,59	0,41
1990-2015	0,90	0,10	0,56	0,44
1990-2016	0,88	0,12	0,54	0,46

Fonte: Elaboração própria

**Tabela C 3 - Índice de desacoplamento e Fator de desacoplamento: OCDE e OCDE-Américas**

Períodos	OCDE		OCDE-Américas	
	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento	Índice de desacoplamento	Fator de Desacoplamento
1990-1991	0,99	0,01	0,99	0,01
1990-1992	0,97	0,03	0,98	0,02
1990-1993	0,97	0,03	0,97	0,03
1990-1994	0,96	0,04	0,95	0,05
1990-1995	0,94	0,06	0,94	0,06
1990-1996	0,94	0,06	0,93	0,07
1990-1997	0,93	0,07	0,94	0,06
1990-1998	0,91	0,09	0,91	0,09
1990-1999	0,88	0,12	0,87	0,13
1990-2000	0,87	0,13	0,86	0,14
1990-2001	0,86	0,14	0,85	0,15
1990-2002	0,84	0,16	0,82	0,18
1990-2003	0,84	0,16	0,81	0,19
1990-2004	0,82	0,18	0,79	0,21
1990-2005	0,80	0,20	0,77	0,23
1990-2006	0,78	0,22	0,74	0,26
1990-2007	0,77	0,23	0,74	0,26
1990-2008	0,75	0,25	0,72	0,28
1990-2009	0,73	0,27	0,69	0,31
1990-2010	0,74	0,26	0,70	0,30
1990-2011	0,71	0,29	0,67	0,33
1990-2012	0,69	0,31	0,63	0,37
1990-2013	0,68	0,32	0,63	0,37
1990-2014	0,65	0,35	0,62	0,38
1990-2015	0,64	0,36	0,59	0,41
1990-2016	0,62	0,38	0,57	0,43

Fonte: Elaboração própria