

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

PATRÍCIA LAZZAROTTI GARCIA

Indutores de impacto ambiental: uma análise para a América Latina e países
membros da OCDE

Porto Alegre

2013

PATRÍCIA LAZZAROTTI GARCIA

Indutores de impacto ambiental: uma análise para a América Latina e países
membros da OCDE

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

Orientador: Dr. Ely José de Mattos

Porto Alegre

2014

PATRÍCIA LAZZAROTTI GARCIA

**INDUTORES DE IMPACTO AMBIENTAL: UMA ANÁLISE PARA A AMÉRICA
LATINA E PAÍSES MEMBROS DA OCDE**

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

Aprovada em: Porto Alegre, 31 de março de 2014

Prof. Dr. Ely José de Mattos (Orientador)

Prof. Dr. Gustavo Inácio de Moraes

Profa. Letícia Braga de Andrade

In memoriam a Edson Machado Garcia.

AGRADECIMENTOS

Muitas dificuldades, obstáculos e superação pessoal foram enfrentados até a conclusão deste trabalho. Sendo assim agradeço em primeiro lugar a Deus, pela vida, força e pelas dádivas recebidas a cada instante. Também gostaria de agradecer a minha família em particular minha irmã Fernanda, minha sobrinha Maria Eduarda, meu cunhado Cláudio, minha mãe Ledi Carmem, minha avó Ledy Olga e em memória meu avô Pedro, minha avó Maria e meu pai Edson. Eles foram, são e sempre serão meu porto seguro, aqueles a quem devo toda a gratidão do mundo por dar seu amor incondicional, seus princípios e sabedoria.

Ao meu orientador Professor Ely Mattos, agradeço sua enorme dedicação, empenho, paciência e calma para a melhor condução do trabalho.

A todos meus amigos agradeço a enorme força, estímulo e dedicação, contudo gostaria de agradecer de maneira especial ao meu colega e amigo Victor Espíndula, a minha querida amiga Raquel Paz, ao meu genial amigo Julian Paolo, a minha inspiradora amiga Jacqueline Palma, ao meu sábio e acolhedor amigo Cristiano Franco, aos meus dóceis amigos Renata e Silver, ao meu brilhante amigo Leandro Alice, ao meus amados Atenante e Luciana, que foram peça fundamental para a conclusão do mestrado. Sem todos vocês este trabalho não seria possível, muito obrigada.

Agradeço também aos meus chefes que tiveram muita compreensão neste momento onde tive que me ausentar diversas vezes das atividades profissionais.

Finalmente agradeço a todos os meus professores que fizeram parte da minha formação ao longo destes anos, que Deus os ilumine.

(...)

Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena
acreditar nos sonhos que se têm
ou que os seus planos nunca vão dar certo
ou que você nunca vai ser alguém.

(...)

Renato Russo

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é verificar e analisar os indutores de impacto ambiental nos países da América Latina e nos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para o período de 2000 a 2008. Para tal, foi utilizado o *Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology (STIRPAT)*, modelo amplamente utilizado na literatura, que tem como pressuposto que a população, a afluência e a tecnologia são os principais indutores de impacto no meio ambiente. Este modelo permite a utilização de métodos estatísticos e a inserção de outras variáveis explicativas ao modelo.

Para o estudo foram utilizados dados em painel, com o método de efeitos fixos. Foram estimados seis modelos, onde as medidas de impacto ambiental utilizadas foram a pegada ecológica, emissão de CO₂ total e emissão de CO₂ per capita para a análise da América Latina e OCDE. Os resultados da estimação corroboram em alguns aspectos com a literatura vigente, demonstrando que a população e a renda são as variáveis mais importantes para explicar os impactos ambientais, seja para países desenvolvidos, aqui representado pelos membros da OCDE, seja para países em desenvolvimento, como no caso dos países Latino americanos .

A inovação do trabalho está associada à utilização deste modelo para análise concomitante dos países da OCDE e América Latina.

Palavras-chaves: Indutores de impacto. Meio ambiente. STIRPAT. América Latina. OCDE

ABSTRACT

The aim of this work is to verify and analyze the driver of environmental impact in Latin America and OECD countries member for the period 2000-2008 .To this end, we used the Stochastic Impacts by Regression on Population , Affluence and Technology (STIRPAT) model widely used in the literature , which presupposes that the population, affluence and technology are the main drivers of environmental impact . This model allows the use of statistical methods and the inclusion of other explanatory variables to the model .

Were used panel data with fixed effects method for the study . Four models , where the measure used was the environmental impact ecological footprint analysis for Latin America and OECD , and CO₂ emissions , also for Latin America and OECD were estimated . The estimation results corroborate in some respects with the current literature, demonstrating that population and income are the most important variables to explain the environmental impacts, whether for developed countries, represented here by the OECD, is for developing countries, as in case of Latin American countries.

The innovation of labor is associated with concomitant use of this model for analysis of OECD countries and Latin America.

Keywords: Inductors impact. Environment. STIRPAT. Latin America. OECD

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Principais marcos referentes à formulação do conceito de desenvolvimento sustentável.....	18
Tabela 2 - Principais publicações com a utilização do Modelo STIRPAT.....	26
Quadro 1 – Países da América Latina e OCDE.....	36
Tabela 3 – Variáveis utilizadas no estudo.....	37
Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis explicativas utilizadas no modelo em painel.....	46
Quadro 2 - Matriz de Correlação.....	46
Tabela 5 – Resultados da estimação dos modelos.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1.	Desenvolvimento sustentável: constituição da discussão	13
2.1.1.	Curva Ambiental de Kuznets	18
2.2.	Indutores de Impacto	21
2.2.1.	Modelos de impacto ambiental: IPAT e STIRPAT	22
2.3	Revisão dos principais Resultados na literatura a partir do modelo STIRPAT	26
3	METODOLOGIA	35
3.1	Regiões utilizadas para a análise	36
<i>3.2</i>	<i>Indutores de impacto ambiental</i>	<i>37</i>
<i>3.3</i>	<i>As variáveis de impacto: Emissão de CO₂ e Pegada Ecológica</i>	<i>38</i>
<i>3.3.1</i>	<i>Emissão de CO₂</i>	<i>38</i>
3.3.2	Pegada Ecológica	39
<i>3.4</i>	<i>Estratégia de Estimação do modelo</i>	<i>41</i>
4	RESULTADOS	46
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO

Estudos que buscam compreender os elementos que induzem o impacto ambiental se tornaram mais profícuos a partir da década de 70. Temos neste período o trabalho de Ehrlich e Holdren, com a criação do modelo Impacts by Population, Affluence and Technology (IPAT) que é considerado um pontapé inicial para uma gama de estudos sobre os indutores de impacto ambiental. Este modelo faz referência à população, afluência e tecnologia como elementos significativos nos impactos ao meio ambiente.

Todavia nos anos 90, Rosa e Dietz fazem uma remodelagem do modelo IPAT, desenvolvendo a versão estocástica, o modelo STIRPAT, permitindo assim a aplicação de métodos estatísticos para a análise dos resultados. Com este modelo diversos estudos foram realizados para diferentes regiões, com a utilização de métodos econométricos, onde grande parte dos estudos reafirma, de maneira geral, que o aumento populacional e o crescimento econômico são responsáveis por explicar a maior parte dos impactos ambientais. Importante destacar que nestes estudos a dimensão econômica é representada normalmente pela renda na ótica da produção (Produto Interno Bruto) e a dimensão ambiental representada por indicadores de poluição.

Tendo em vista os impactos ambientais, muitos dos estudos com o modelo STIRPAT utilizam a emissão de gás carbônico como medida de impacto. Trata-se de uma importante variável que segundo Silva et al. (2011) é “o principal gás responsável pelas mudanças climáticas”. O CO₂ está associado ao crescimento econômico, à utilização intensiva de combustíveis fósseis, aos processos de industrialização, entre outros, contudo é uma medida restrita. Assim algumas pesquisas utilizam a Pegada ecológica, um indicador publicado pela World Wildlife Fund (WWF) que mostra a quantidade de recursos naturais necessários para a manutenção da vida no planeta terra. A pegada ecológica apresenta uma característica multidimensional.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo identificar e analisar os indutores de impacto que explicam os impactos ambientais nos países que compõem a América Latina e nos países membros da OCDE. A análise se refere ao período de 2000 a 2008. O modelo empregado é o *Stochastic Impacts by*

Regression on Population, Affluence and Technology (STIRPAT) com utilização da emissão de CO₂ total, emissão de CO₂ per capita e da Pegada Ecológica.

O trabalho está dividido em quatro seções: a primeira é a introdução, propriamente dita; a segunda seção é a revisão de literatura onde estão descritos os principais marcos referentes a discussão dos impactos ambientais na teoria econômica; na seção três é apresentada a metodologia, com a descrição do modelo de efeitos fixos e descrição das variáveis explicativas e explicadas, aqui é apresentado os principais estudos que utilizaram o modelo STIRPAT; a quarta seção faz apresentação dos principais resultados provenientes da aplicação do modelo STIRPAT para a América Latina e OCDE; e por fim as considerações finais do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A sustentabilidade tem se destacado no contexto mundial, onde muitos movimentos, ações e políticas, sejam elas governamentais, sociais, entre outras, estão direcionadas a obterem resultados alinhados aos conceitos de desenvolvimento sustentável. De fato há uma percepção de grande parte dos atores da sociedade de que não é mais possível ignorar as questões sociais e ambientais em decorrência do crescimento econômico, sendo necessário garantir que as gerações futuras também possam usufruir das mesmas condições que a geração presente.

Por muito tempo o foco da teoria econômica estava em alcançar exclusivamente o crescimento econômico, onde a escala de riqueza de uma nação estava atrelada a sua capacidade de geração de renda. A partir da década de 70 outros fatores e variáveis começam a ser agregadas a discussão, como as questões sociais, ambientais, institucionais, entre outras, tornando o tema mais complexo. O mundo começou a assistir com maior atenção, neste período, algumas catástrofes ambientais e restrições naturais, que ocasionaram em diversos estudos com o propósito de compreender as razões e consequências da constante degradação ambiental. Neste contexto surgem pesquisas para avaliar os elementos que impactavam no meio ambiente, conhecidos como indutores ambientais, com consequências nos recursos naturais, na qualidade do ar, na quantidade e diversidade da fauna e flora, entre outros.

Sendo assim, o capítulo se propõe a fazer um apanhado da discussão sobre meio ambiente e desenvolvimento, apresentando os principais marcos teóricos. Dentro deste enfoque serão apresentados estudos e modelos utilizados para entender as relações entre os diferentes indutores (tais como população, renda e tecnologia) nos impactos ambientais. O estudo tem como foco a análise do modelo IPAT e STIRPAT que são amplamente utilizados para o estudo dos indutores de impacto. E por fim, será apresentado um levantamento dos estudos mundiais com a aplicação do modelo STIRPAT.

2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: CONSTITUIÇÃO DA DISCUSSÃO

A discussão sobre os problemas ambientais, na análise econômica, é recente, contudo a preocupação com relação à escassez dos recursos naturais remonta ao início das discussões da teoria econômica (MIKHAILOVA, 2004). Aos poucos, ao longo dos anos, as questões ambientais foram tomando forma e foram sendo inseridas tanto nas discussões sociais como econômicas.

Após a Segunda Guerra Mundial, com os processos e mudanças no curso da sociedade, o desenvolvimento econômico tornou-se um dos objetivos da então recém criada Organização das Nações Unidas (ONU). Segundo Neto (op. cit), a expressão desenvolvimento esteve durante muito tempo atrelada ao progresso técnico, modernização, industrialização, ou seja, como sinônimo de crescimento econômico. Havia então a ideia de que o progresso técnico poderia resolver todos os problemas de escassez de matéria-prima, que pudessem ocorrer no presente ou no futuro, uma espécie de solução fantástica para tudo. Segundo essa visão, o crescimento econômico iria sanar todas as questões de desigualdades, sejam sociais ou regionais, onde, num primeiro momento, haveria um crescimento vertiginoso no topo da pirâmide social e, em seguida, haveria a divisão destes resultados para o restante da sociedade. Neste período as questões ambientais ainda não faziam parte da agenda dos governos e sociedade.

Em meados dos anos 60 havia a discussão do desenvolvimento versus o subdesenvolvimento, principalmente na América Latina. A solução para os problemas dos países em subdesenvolvimento se resumia na intervenção do Estado. Esse pensamento estava alicerçado nas teorias keynesianas e do bem estar - o *Welfare State* (NETO, 2006).

O pensamento central desse período era evidenciado pela CEPAL (Comissão Econômica para América Latina e Caribe), que problematizava sobre as questões de desenvolvimento/subdesenvolvimento e centro/periferia. O foco estava em comparar os diferentes níveis de desenvolvimento, buscando os possíveis caminhos para superação do atraso histórico da periferia, onde se defendia que o desenvolvimento era possível através de um processo de industrialização, via substituição de importações, cujas questões estruturais deveriam ser levadas em consideração.

Como nos lembra Jacobi (2005), somente a partir de 1972 a questão ambiental é inserida de forma mais incisiva no debate do desenvolvimento econômico. A incorporação da variável ecológica nas decisões econômicas e sociopolíticas tem na

construção do conceito de desenvolvimento sustentável um referencial que ganha visibilidade, que coloca o desenvolvimento como uma forma de modificação da natureza e que, portanto, deve contrapor-se tanto aos objetivos de atender às necessidades humanas e de outro lado, seus impactos, dentre estes, aqueles que afetam a base ecológica. A incorporação do marco ecológico nas decisões econômicas e políticas passam em implicar no reconhecimento de que as consequências ecológicas do modo como a população utiliza os recursos do planeta estão diretamente associadas ao modelo de desenvolvimento.

Mesmo antes, a publicação de “A primavera silenciosa”, de Rachel Carson, em 1962, já representa o questionamento, nos Estados Unidos, do modelo agrícola convencional e sua crescente dependência do petróleo como matriz energética, caracterizando um modelo de desenvolvimento totalmente anti-sustentável. Ao tratar do uso indiscriminado de substâncias tóxicas na agricultura, alertava para a crescente perda da qualidade de vida produzida pelo uso indiscriminado e excessivo dos produtos químicos e os efeitos dessa utilização sobre os recursos ambientais (Carson, 2002; Jacobi, 2005).

Nos anos 70, várias ações sinalizam o questionar do sistema produtivo, denunciando a falta de sustentabilidade e o comprometimento de recursos, como o neomaalthusiano Clube de Roma, *Deep Ecology* - fundado pelo professor da Universidade de Oslo, Arne Naess – e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano; juntas, essas ações começaram a dar um sentido diferente para o desenvolvimento, a medida que o meio ambiente entra na discussão (NETO, 2006). Neste período se observa um comprometimento maior do Brasil em relação as ações de proteção e conservação ambiental, fruto desse processo foi a criação em 1973 da Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA).

Durante o clube de Roma foi publicado o relatório “os limites do crescimento” ou “Relatório Meadows”. Este relatório teve grande repercussão mundial, pois fazia uma análise de tendência demonstrando que a população iria sofrer redução em decorrência da escassez de alimentos e do envenenamento ambiental. O trabalho foi pioneiro ao utilizar o computador para a construção de um modelo que analisava o comportamento da Terra e também por ter sido desenvolvido por uma equipe multidisciplinar no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Este relatório, apesar de ter sido amplamente criticado, acabou por influenciar as discussões

durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em Estocolmo (CORAZZA, 2005).

Os movimentos ocorridos e relatórios publicados durante a década de 70 foram importantes, conforme Gomes (2011) para se repensar em um novo modelo de desenvolvimento econômico que abrangesse outros aspectos, que não só o crescimento econômico, mas também aspectos ambientais e sociais. Desta forma a dimensão ambiental passou a ser considerada nas políticas internacionais.

Em 1973 é criado o termo ecodesenvolvimento, pelo então Secretário Geral da Conferência de Estocolmo, como uma tentativa de “responder à problemática da harmonização dos objetivos sociais e econômicos do desenvolvimento com uma gestão ecologicamente prudente dos recursos e do meio.”(SACHS, 1993). De acordo com Romeiro (2012):

"O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu com o nome de ecodesenvolvimento nos anos 70. Foi fruto do esforço para encontrar uma terceira via opcional àqueles que opunham, de um lado, desenvolvimentistas e, de outro, defensores do crescimento zero. Par estes últimos, chamados de "zeristas" ou pejorativamente "neomalthusianos", os limites ambientais levariam a catástrofes se o crescimento econômico não cessasse".

Nos anos 80 o mundo passa por duas grandes tragédias ambientais a de Bhopal (1984) e a Chernobyl (1986), que acaba reforçando as críticas sobre o crescimento econômico e a necessidade de ações e de novos embasamentos teóricos que dessem conta da questão do meio ambiente.

Ainda nos anos 80 é sistematizado, em 1987, no relatório Brundland (WCED, 1987), a definição do que seria a sustentabilidade do desenvolvimento, onde se dá a partir da satisfação das necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (ONU, 1991). Esse relatório induz à conclusão de que era indispensável uma mudança no enfoque do desenvolvimento, dado aos impactos negativos advindos dos problemas ambientais (SICHE, ET AL, 2007). Segundo Malheiros, há, portanto, uma tentativa internacional em desenvolver diretrizes, políticas e instrumentos para promover o desenvolvimento sustentável. Ao encontro disto, no Brasil foi promulgada em 1981 a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) demonstrando

assim o comprometimento do país com as questões de conservação do meio ambiente.

Nos anos 90, buscando compreender a relação entre crescimento econômico e meio ambiente, foi desenvolvido por Grossman e Krueger (1995,1996) um estudo conhecido por "Curva Ambiental de Kuznets - CKA". De acordo com Carvalho (2010) a CKA mostra que nos estágios iniciais de crescimento econômico as medidas de degradação ambiental aumentariam, contudo à medida que fosse alcançado determinado nível de renda a degradação diminuiria. A discussão sobre a CKA será detalhada neste trabalho em sessão posterior.

A conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento (CNUMAD) em 1992, conhecida por Eco-92 ou Rio 92 por ter sido sediada no Rio de Janeiro, caracteriza-se como um marco do comprometimento mundial para o desenvolvimento sustentável. O objetivo do evento era buscar meios para reduzir as diferenças entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos através da utilização de ações e atividades pautadas na preservação dos recursos naturais. Após este evento em diversas regiões iniciou-se as ações para tal finalidade com a aderência de diversos municípios (MALHEIROS, 2008).

Como resultado da conferência foram produzidos alguns documentos oficiais, entre eles a Agenda 21. Neste documento havia 2.500 recomendações, para a implementação de ações, alinhadas ao conceito de desenvolvimento sustentável. De acordo com Dias (2011), foram ainda realizadas duas outras conferências depois da RIO-92 com o objetivo de verificar se as metas estipuladas foram alcançadas. Na sequência ocorreram a Rio+5 em 1997 e a Rio+10 em 2002.

No período entre as duas conferências, foi sancionado o Protocolo de Kyoto. Este documento trazia alguns métodos para combater o aquecimento global, pela utilização do controle das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs), determinando que várias nações industrializadas reduzissem suas emissões. Porém, na época, Estados Unidos e China (maiores emissores de poluentes do mundo) não aderiram ao protocolo.

Na tabela 1 são citados os principais marcos que ajudaram a compor a discussão sobre desenvolvimento sustentável.

Tabela 1 – Principais marcos referentes à formulação do conceito de desenvolvimento sustentável

Ano	Acontecimento
1962	Publicação do Livro Primavera Silenciosa (Silent Spring)
1968	Criação do Clube de Roma
1968	Conferência da UNESCO sobre a conservação e o uso racional dos recursos da biosfera
1971	Criação do Programa MAB da UNESCO para a conservação da biodiversidade
1972	Publicação do Livro Os limites do Crescimento
1972	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano - Estocolmo
1983	Formação da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD)
1987	Publicação do relatório Brundtland da CMMAD: “Nosso Futuro Comum”
1992	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio de Janeiro
1997	Rio + 5 – Nova York
1999	Protocolo de Kyoto
2000	Cúpula ou Assembleia do Milênio das Nações Unidas
2002	Rio + 10 – Cúpula Mundial sobre o desenvolvimento sustentável - Johannesburgo
1995-2010	Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

Fonte: Dias (2011)

A questão da degradação ambiental foi sendo agregada paulatinamente nas discussões sobre o desenvolvimento econômico. Algumas abordagens teóricas, como a Curva Ambiental de Kuznets (CKA), representam inserção da análise ambiental na teoria econômica. Na próxima seção será apresentada em detalhes a CKA e suas contradições teóricas.

2.1.1. Curva Ambiental de Kuznets

A relação entre o crescimento econômico e o meio ambiente remonta do período entre 1960 a 1970. Autores como Mishan (1969), Solow(1972) e Commoner (1972) analisaram o impacto do crescimento sobre o meio ambiente. Posterior a este período alguns outros autores trataram de discutir sobre resíduos e utilização dos recursos naturais tais como D'Argue (1971), D'Argue e Kogiku (1973), Heal e Dasgupta (1975), Stiglitz (1975), Smith (1976), Anderson (1972) e Kamien Schwartz (1978) (Arraes, et all, 2006).

Na década de 90, Grossman e Krueger(1991,1995,1996), com o objetivo de estudar a relação entre crescimento econômico e meio ambiente fizeram um

trabalho, em 1991, sobre os potenciais impactos ambientais do NAFTA (North American Free Trade Agreement). Em 1992 o World Development Report foi publicado com o título "Development and the Environment" também corroborando com os pressupostos do que viria a ser a Curva Ambiental de Kuznets.

A original curva de Kuznets, que foi publicada em 1955, apresentava a relação entre o crescimento econômico e a distribuição de renda, sendo que sua abordagem gráfica tinha o formato de "U" invertido. Isto demonstrava que à medida que o crescimento econômico aumentava, a concentração de renda também. Esta teoria foi constituída a partir da observação de nações que estavam transacionando de uma economia agrícola para uma economia urbano-industrial (KUZNETS, 1955). O modelo clássico de Kuznets serviu de base para diversos trabalhos relacionando renda e meio ambiente (Arraes, et all, 2006).

Em 1995, Grossman e Krueger elaboraram o trabalho "Economic Growth and the Environment". O estudo explora a relação entre renda per capita e poluição do ar em regiões urbanas, que também reforça a hipótese de U-invertido. Neste trabalho demonstraram que a poluição urbana nos EUA levaria a um ponto de inflexão da renda, onde a partir deste ponto a poluição se tornaria função decrescente da renda (Arraes, et all, 2006).

De acordo com Dinda (2004), a partir da década de 1990, cresceu o número de estudos que relacionam o meio ambiente com o crescimento/desenvolvimento econômico. O aspecto comum a estes estudos está em demonstrar que nos estágios iniciais do crescimento/desenvolvimento econômico a pressão ambiental cresce mais rapidamente do que a renda.

Confirmando as relações de U-invertido, Shafik e Bandyopadhyay (1992) realizaram um estudo com uma gama de indicadores ambientais, tais como: ausência de água potável, ausência de saneamento, desflorestamento, oxigênio dissolvido nos rios, coliformes fecais nos rios, poluição do ar, emissão de carbono e produção de lixo per capita. Sendo assim, apontam que a renda tem relação direta com a qualidade ambiental, porém reforçam que estas relações são complexas. Outros trabalhos como o de Selden e Song (1994) e de Torras e Boyce (1998) também reafirmam o formato de U-invertido em decorrência da relação entre renda e pressão sobre os indicadores ambientais.

Cavlovic, et al. (2000) realizaram um compilado dos principais trabalhos empíricos sobre a CAK. Dois pontos são importantes: 1º - trabalhos que utilizaram países desenvolvidos normalmente apresentaram seus "turning points" mais elevados e 2º - os autores apontam a utilização de diferentes metodologias nos estudos, que levam a resultados diferentes, e desta forma se deve ter prudência nas análises para que não ocorra a influencia errônea nas decisões políticas.

Outro trabalho relevante que utiliza a CAK é o de Dinda (2004). De acordo com o autor, escala, tecnologia e composição são os elementos que ajudam a moldar o formato U-invertido. Observando o efeito escala num país no início da sua fase de crescimento econômico, nota-se um vertiginoso aumento da produção, que implica na utilização de mais insumos e na geração de detritos. Conforme o país vai se desenvolvendo, transformações em sua estrutura vão acontecendo e desta forma abre a possibilidade da agregação de novas tecnologias mais limpas e menos agressivas ao meio ambiente. Sendo assim, na fase inicial da CAK há predominância do efeito escala e aos poucos, a partir do *turning point*, o efeito composição e tecnologia abrem espaço. Isto envolve afirmar que a altura e largura da curva estão diretamente relacionadas com a proporção destes efeitos (Dinda, 2004).

Outra importante interpretação sobre a CAK mostra que:

"quando um determinado país tem renda baixa, a preocupação inicial é com a elevação desta renda, que vem associada ao aumento da produção. Neste processo de aumento da produção, não existe maior espaço para ganhos em qualidade ambiental, pois o foco está sobre outra variável (unicamente o crescimento). Após alcançar um determinado patamar de renda, os indivíduos passam a demonstrar outro tipo de atenção à qualidade ambiental, que agora ganha importância diferenciada - como que se tornasse um bem superior. (MATTOS, 2012, p.31)

Outro aspecto importante a considerar é a questão do comércio internacional, que segundo Stern, et al. (1996), os países em desenvolvimento acabam por exportar os produtos intensivos em recursos naturais, que são normalmente os que apresentam os maiores impactos ambientais, para os países desenvolvidos. Isto significa que a degradação ambiental ficaria concentrada nos países em desenvolvimento. Esta explicação é denominada de "Hipótese do Paraíso da Poluição - PHH", porém de acordo com Cole (2004), ainda não há um consenso acadêmico sobre validade desta hipótese.

Muitos estudos também surgiram com diversas contradições e ressalvas à hipótese da Curva Ambiental de Kuznets. Arrow (1995) argumenta que nos estágios iniciais de crescimento econômico a sociedade estaria focada nas questões de elevação do bem estar social e não no cuidado com o meio ambiente. Este quadro só mudaria conforme a população alcançasse determinado nível de renda. Arrow também argumenta 3 outros importantes pontos: a) que o formato de U-invertido não funciona muito bem quando se refere aos estoques de recursos naturais; b) que a curva não dá conta de agregar o sistema global, somente o local ; c) e que em decorrência de alterações institucionais, a melhora ambiental pode ser descuidada com a relações entre as gerações.

A Curva Ambiental de Kuznets, como apresentada, vem sendo empiricamente testada por diversos estudos. Trata-se de uma importante contribuição sobre a relação entre crescimento econômico e meio ambiente. Na próxima sessão serão detalhados os indutores de impacto, que são o enfoque do presente estudo.

2.2. INDUTORES DE IMPACTO

Os impactos ambientais vêm interferindo e mudando o ambiente global, levando à redução na cobertura vegetal, na quantidade e distribuição de espécies, na composição química da atmosfera e na disponibilidade de recursos (York et al, 2003).

Estudos realizados provam que os principais fatores antropogênicos, ou indutores de impacto, são a população, atividade econômica, tecnologia, instituições políticas e econômicas (DIETZ e ROSA, 1997). Alguns estudos foram realizados na década de 1970 com o objetivo de verificar os impactos no meio ambiente das atividades humanas. (Jorgenson (2003), York (2003)). Dentro deste enfoque, um estudo pioneiro foi o modelo desenvolvido por Paul Ehrlich e John Holdren, o modelo conhecido como "IPAT". De acordo com York (2003), o modelo emergiu da discussão sobre os principais indutores de impactos ambientais antrópicos. O IPAT possui uma identidade matemática, uma característica contábil, onde mostra que os impactos ambientais são o produto de 3 indutores, sejam eles, população, afluência (renda) e tecnologia, ou seja, $I=P*A*T$.

Com base no modelo IPAT foi desenvolvido por DIETZ e ROSA (1994) uma versão estocástica, mais sofisticada, que possibilita avaliar a elasticidade das variáveis explicativas. Esta versão é chamada de Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology - STIRPAT, que será tratada em detalhes na próxima seção (YORK, et al., 2003; DIETZ, et al., 2007).

2.2.1. Modelos de impacto ambiental: IPAT e STIRPAT

Diversos estudos foram realizados a partir da década de 1970 com o intuito de compreender as complexas relações que a atividade econômica geram no meio ambiente. A Curva Ambiental de Kuznets tem sua importância teórica em apresentar a relação entre crescimento econômico e meio ambiente. Contudo, outros estudos surgiram com o propósito de compreender os diversos impactos da atividade humana sobre o meio ambiente, dando um caráter multidimensional as análises.

Ehrlich e Holdren publicaram em 1971 o artigo intitulado "Impact of Population Growth". Segundo os autores cada indivíduo possui um impacto negativo no meio ambiente. O foco central do trabalho estava em evidenciar que o crescimento populacional possui impacto no meio ambiente. Trata-se de um modelo clássico, uma tentativa quantitativa de avaliar os impactos ambientais provenientes das atividades humanas. O modelo formal é representado por:

$$I = P.A.T \quad (1)$$

Onde I é o impacto ambiental, P a população, A afluência (riqueza) e T o impacto ambiental por unidade de atividade econômica, sendo que esta é proveniente da tecnologia utilizada na "production of goods and services and by social organization and culture that determine how technology is mobilized" (Dietz e Rosa, 1997).

A primeira versão do modelo IPAT tinha como elemento central somente a população, onde o impacto ambiental era proveniente do produto da população pelo impacto per capita apurado. A tecnologia era uma variável endógena (Chertow, 2001).

O ponto forte do modelo se refere ao fato de ser uma especificação parcimoniosa dos indutores ambientais e onde a representação deixa claro que os indutores não influenciam nos impactos independentemente um dos outros, mas que as alterações em um fator acabam sendo multiplicadas pelos outros fatores (YORK, et al., 2003). Desta forma, mesmo que tenhamos um dos fatores constante, o que está variando não irá explicar sozinho o impacto, onde:

"if in a given nation P and T remain constant over a period of time while A increases, it would not be correct to argue that impacts are caused by A alone, since P and T, even if they remain unchanged, scale the effects of changes in A (YORK et al. 2002)".

O modelo IPAT também apresenta limitações, como foi apontada por Dietz e Rosa (1994). Ao fixar as variáveis, impacto ambiental, população e afluência e também a variável tecnologia, o modelo faz com que os impactos da população e da afluência fiquem subestimados frente à tecnologia. Sendo assim o modelo IPAT, em função de sua característica contábil, permite aferir resultados da intensidade de impacto ambiental e eficiência. Contudo não permite testar hipóteses sobre os indutores humanos de impacto ambiental.

Dietz e Rosa (1994) apontam 6 limitações do modelo IPAT, sejam elas: 1) importante que o modelo seja estocástico afim de possibilitar o teste de hipóteses; 2) possibilidade de se utilizar um maior numero de indicadores; 3) permitir usar taxa de crescimento, distribuição e composição da população; 4) inclusão de indicadores de afluência; 5) medir tecnologia de maneira direta, não somente como resíduo; 6) criação de sistemas de equações para dar conta da complexidade entre os indutores de impacto.

Apesar das limitações do modelo IPAT de Ehrlich e Holdren (1971), Dietz e Rosa (1997) desenvolveram a versão estocástica do modelo. Os autores utilizam como referência o modelo IPAT em função de três características importantes, sejam elas: é simples porque consegue incorporar os indutores de impacto de maneira parcimoniosa; robusto em função de sua grande aplicabilidade; e sistemático demonstrando a relação matemática entre os indutores e os impactos (Dietz e Rosa, 1997).

Alguns importantes pontos norteadores foram considerados para o desenvolvimento do modelo STIRPAT: utilizar um modelo estocástico para que fosse possível realizar testes de hipóteses; possibilitar o emprego de uma variedade

de indicadores de impacto ambiental; possibilitar a utilização da taxa de crescimento, distribuição e composição da população; permitir a utilização de medidas de distribuição como medidas de riqueza; avaliar a tecnologia de maneira direta e não apenas como resíduo; obter um modelo que estime os efeitos diretos e indiretos das forças motrizes, levando em consideração a complexidade destas relações e interações (Dietz e Rosa, 1994).

Conforme Dietz e Rosa (1994), a versão estocástica do modelo IPAT permite a aplicação de uma rica variedade de ferramentas conceituais e estatísticas citando-se a utilização de variáveis dummies, a utilização de série de tempo, entre outras possibilidades. Para o presente trabalho será utilizado um conjunto de dados de painel, que será detalhado na próxima sessão.

O modelo de Dietz e Rosa (1997) é expresso como segue:

$$I_i = aP_i^b A_i^c e_i \quad (2)$$

Os termos I, P e A possuem o mesmo significado do que o modelo IPAT. A inovação feita por Dietz e Rosa (1997) primeiro se encontra na inserção do "i" nas variáveis, que denota que estas quantidades variam de acordo com as unidades de observação. Conforme os autores citados, "the quantities a, b, c e e can be estimated by applying standard statistical techniques. The coefficients b and c determine the net effect of population and affluence on impact, and a is a constant that scales the model" (Dietz e Rosa, 1997). A tecnologia, no modelo representado, engloba as organizações sociais, instituições, cultura, a própria tecnologia e todos os outros fatores, não controlados, que podem impactar no meio ambiente (Dietz e Rosa, 1997).

Dietz e Rosa (1994), no modelo STIRPAT, definem os conceitos das variáveis, conforme segue:

- Variável "I – A utilização da ação humana como uma medida de impacto é uma aproximação razoável, que muitas vezes se faz uso em função da sua disponibilidade de dados sobre as atividades humanas e da escassez de dados sobre a real mudança ambiental. Contudo estas medidas não conseguem captar a capacidade dos sistemas naturais para absorver impactos e os limites (provavelmente não-linear) dessas habilidades.

- Variável "P" - é plausível a hipótese de que o ritmo de crescimento da população, por si só, contribui para o impacto ambiental para além dos efeitos de tamanho da população.

- Variável "A" – a renda nacional, o produto nacional bruto per capita e o produto interno bruto per capita são as medidas usuais da atividade econômica em modelos IPAT. Contudo nas últimas décadas uma série de alternativas foram propostas, tais como a "qualidade física do índice de vida" (PQLI)¹, que combina a mortalidade infantil, alfabetização e expectativa de vida.

- Variável "T" - o modelo estocástico estima o efeito de T independente de I, P e A. Desta forma é possível realizar hipóteses específicas sobre T e testar essas hipóteses com os indicadores operacionais.

Com o modelo STIRPAT é possível a estimação através das variáveis em logaritmos naturais, sendo que o modelo ficaria conforme segue:

$$\ln(I) = a + b(\ln(P)) + c(\ln(A)) + e \quad (3)$$

Um ponto importante a ser considerado é que a T tecnologia é integrada ao erro, ou seja, ela é determinada endogenamente, se aproximando do modelo original. Também é possível agregar ao modelo outras variáveis de outras dimensões que apresentem consistência a formulação multiplicativa do modelo, onde sua formulação seria:

$$\ln(I) = a + b[\ln(P)] + c[\ln(A)] + \sum_{i=1}^n \beta_i [\ln(X_i)] + e \quad (4)$$

Sendo um modelo logarítmico é possível realizar estimações dos parâmetros. Sendo assim b e c são medidas de elasticidade, que permitem verificar a variação percentual em I quando ocorre a variação de 1% em P e A. Assim se o coeficiente apresentar valor maior que 1 teremos uma situação onde o impacto ambiental está acelerado e quando o valor do coeficiente for menor que 1, a situação é de desaceleração do impacto ambiental.

¹ Physical Quality of Life Index (PQLI) resume a mortalidade infantil, expectativa de vida até um ano de idade e alfabetização básica em uma escala de zero a 100. O índice permite aos pesquisadores classificar os países, não pela renda, mas por mudanças nas chances reais da vida (MORRIS, 1977)

2.3 REVISÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS NA LITERATURA A PARTIR DO MODELO STIRPAT

O modelo STIRPAT se encontra em diversos estudos e análises para o entendimento dos indutores ambientais. Desta forma serão apresentados os principais resultados provenientes da utilização do modelo. Na tabela 1 se apresentam alguns relevantes estudos com informações sobre o ano de publicação, área de abrangência, método e indicador de impacto utilizado.

Tabela 2 - Principais publicações com a utilização do Modelo STIRPAT

Data de publ.	Título da Publicação	Autores	Publicação	Área geográfica	Organização dos dados	Método	Indicador de impacto ecológico
1997	Effects of population and affluence on CO ₂ emissions	Rosa, E.A. e Dietz, T.	The National Academy of Science of the USA	Mundo	Cross-section	STIRPAT	CO ₂
2003	Footprints on the earth: the environmental consequences of modernity	York, R.; Rosa, E.A. e Dietz, T.	American Sociological Review	Mundo	Cross-section	Impact & STIRPAT	CO ₂ e EF
2003	STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts	York, R.; Rosa, E.A. e Dietz, T.	Ecological Economics	Mundo	Cross-section	STIRPAT, IPAT and ImPACT	CO ₂ e EF
2004	Tracking the anthropogenic drivers of ecological impacts	York, R.; Rosa, E.A. e Dietz, T.	Ambio	Mundo	Cross-section	STIRPAT	O ₃ , CO ₂ e EF
2005	ImPACTS identity of sustainability assessment	Xu, Z.; Cheng, G. e Qiu, G.	Acta Geographica Sinica	Mundo	Cross-section	STIRPAT	EF
2007	Driving the human ecological footprint	York, R.; Rosa, E.A. e Dietz, T.	Frontiers in Ecology and the environments	Mundo	Cross-section	STIRPAT	EF
2009	Analysis of the major drivers of the ecological footprint using the STIRPART model and the PLS method - A case study in Henan Province, China	Junsong Jia; Hongbing Deng; Jing Duan e Jingzhu Zhao	Ecological Economics	Henan Province, China	série de dados	STIRPAT	EF

2010	Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts	LIDDLE, Brantley; LUNG, Sidney	Popul Environ	Países desenvolvidos	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
2011	Determinantes da emissão de CO ₂ por uso de combustíveis fósseis para países sul-americanos, a partir da abordagem STIRPAT	Felipe Silva; Lora dos Anjos Rodrigues; Roni Barbosa Moreira e Alexandre Bragança Coelho	IX Encontro Nacional da ECOECO	Países sul-americanos	série de dados	STIRPAT	CO ₂
2011	Consumption-driven environmental impact and age structure change in OECD countries: A cointegration-STIRPAT analysis What Are the Carbon Emissions Elasticities for Income and Population? New evidence from heterogeneous panel estimates robust to stationarity and cross-sectional dependence". Poputation, affluce, and environmental impact across development: Evidence from panel cointegration modeling	Brantley Liddle	Demographic Research	Países da OCDE	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
2012	Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO ₂ emissions: a regional analysis em China	LIDDLE, Brantley	USAAE Working Paper	26 países da OCDE e 45 países que não fazem parte da OCDE	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
2012	The impacts of population change on carbon emissions in China during 1978-2008	LIDDLE, Brantley	Environmental Modeling & Software 40	31 países da OCDE e 54 países da não OCDE	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
2012	Urban density and climate change: a STIRPAT analysis using city-level data	ZHANG, Chuanguo; LIN, Yan	Energy Policy	China	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
2012		ZHU, Qin; PENG, Xizhe	Environmental Impact Assessment Review	China	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
2013		LIDDLE, Brantley	Journal fo Transport Geography	Países da OCDE	série de dados	STIRPAT	CO ₂

2013	Examining the impact factors of energy-related CO ₂ emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China	WANG, Ping; WU, Wanshui; et al	Applied Energy	Guangdong Province, China	Dados em painel	STIRPAT	CO ₂
------	---	--------------------------------	----------------	---------------------------	-----------------	---------	-----------------

Fonte: Elaboração Própria

Em 1997 Rosa e Dietz desenvolveram a versão estocástica do modelo IPAT, o modelo STIRPAT, que foi detalhado na seção 2.2.1. Para testar o modelo utilizaram 111 nações, no período de 1989, para verificar a relação da emissão de CO₂ com a afluência (riqueza) e população. Rosa e Dietz utilizaram o CO₂ como medida de impacto por considerá-la uma importante forma de perceber o impacto da ação humana no meio ambiente e também pela disponibilidade de dados existentes na época para uma grande quantidade de nações (Dietz e Rosa, 1997). Os resultados do trabalho mostram que somente os países com PIB per capita maior ou igual a \$10.000 tiveram uma sutil queda nos níveis de emissões de CO₂. Os autores sugerem que isso acontece em função de 2 mudanças estruturais, sejam elas, economias baseadas em serviços e maiores investimentos destas nações em eficiência energética. Na outra ponta a grande parte das nações, que apresentavam PIB per capita abaixo de \$5000, apresentavam tendências crescentes na emissão de CO₂. De acordo com Rosa e Dietz (1997) a redução na emissão de CO₂ para estas economias "will not occur in the normal course of development and will have to come from target efforts to shift toward less carbon-intensive technologies and activities".

Em 2003, York, Rosa e Dietz, publicaram o artigo "Footprints on the earth: the environmental consequences of modernity". O objetivo do trabalho foi testar, a partir de um quadro analítico comum, as teorias de impacto ambiental sob a perspectiva da ecologia humana, modernização e economia política. Com o modelo STIRPAT foram testados dados de 1996 para 142 países. Para a variável dependente foi utilizada a pegada ecológica. No que se refere as variáveis independentes: na perspectiva da ecologia humana foram empregadas o tamanho da população, percentual da população na faixa de idade de 15-65 anos, latitude do país e área de terra per capita; para a análise da modernização as variáveis utilizadas foram: PIB per capita, PIB per capita quadrático, percentual do PIB não relacionado ao setor de serviços, percentual da população urbana, percentual da população urbana

quadrática, ambientalismo do estado, que se refere a participação do país em tratados ambientais, nação capitalista (se o País é capitalista, um mix de capitalista ou capitalista estatizante), direitos políticos e liberdades civil (estas 3 últimas classificadas como variáveis dummy); e para visão da economia política se utilizaram o PIB per capita, nação capitalista (se o País é capitalista, um mix de capitalista ou capitalista estatizante) e posição no Sistema Mundial (nações centrais, semiperiferia e periferia) (YORK, ROSA e DIETZ, 2003).

Na análise foram testados 6 modelos pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO ou OLS): No 1º modelo foram incluídas todas as variáveis, citadas acima, no 2º modelo foram inseridas as variáveis da análise da modernização, no modelo 3 as variáveis de economia política, no modelo 4 as variáveis de ecologia humana, no modelo 5 o STIRPAT quadrático e no 6 os fatores básicos do modelo STIPART (População e renda) (YORK, ROSA e DIETZ, 2003).

Os resultados da pesquisa evidenciam que os impactos mudam proporcionalmente conforme a população, indo ao encontro dos argumentos Neo-Malthusianos² e da economia ecológica³. Outros fatores como estrutura da população, latitude, área de terra per capita também possuem influência no impacto ambiental. Os aumentos consistentes no PIB per capita levam ao aumento do impacto, mas não de maneira proporcional como é postulada pelos economistas neo-clássicos e demonstrado na Curva Ambiental de Kuznets. Ao contrário do que rege a perspectiva da modernização, a urbanização leva ao aumento do impacto e os fatores como ambientalismo do estado, direitos políticos, liberdades civis, desenvolvimento do setor de serviços e a presença de um sistema capitalista, não apresentaram efeitos significativos nos impactos. De maneira geral se nota que a maior parte do impacto humano no meio ambiente é explicado pelos fatores econômicos e ecológicos básicos. Fundamental também é ter em vista que os

² De acordo com Kimpara (2010), no século XX surgiram teorias neomalthusianas que tinham como pressuposto básico o controle populacional a fim de evitar possíveis colapsos que poderiam levar a extinção da raça humana.

³ A crítica que a Economia Ecológica faz ao crescimento econômico tem por base os princípios, conceitos e ferramentas biofísicos-ecológicos. A teoria defende que a "atual problemática ambiental e as perspectivas de um Desenvolvimento Sustentável não podem ser devidamente compreendidas apenas nos marcos da Economia ou da Ecologia convencionais. Propõe, portanto, uma análise baseada na relação de interdependência dos dois sistemas(...). Sua posição consiste em reconhecer que o progresso tecnológico efetivamente se dá, promovendo constantemente a superação de limites circunstanciais, seja através do aumento da eficiência no uso dos recursos, seja pela substituição de recursos exauríveis por outros, renováveis. Reconhece, finalmente, que essa dinâmica esbarra em restrições biofísicas insuperáveis (FERNANDEZ,2011)".

coeficientes estimados são expoentes de uma função multiplicativa, ou seja, considerando um aumento em uma variável independente, teremos o aumento de impactos em combinação com os outros fatores (YORK, ROSA e DIETZ, 2003).

Ainda em 2003, York, Rosa e Dietz lançaram outro estudo sobre indutores de impacto. Neste novo trabalho focaram em comparar os resultados entre as diferentes ferramentas analíticas: o IPAT, o ImPACT⁴ e o STIRPAT. Foram utilizados os dados de emissão de CO₂, disponíveis por países em 1996, e dados da Pegada Ecológica, disponíveis por países em 1999. Sugere-se que a população é o maior indutor de impacto tanto na emissão de CO₂ como na Pegada Ecológica(PE). Urbanização e o setor industrial possuem resultados positivos no impacto. Outro resultado relevante é que nações em regiões não tropicais apresentaram maior impacto do que as nações localizadas nas regiões tropicais. Todavia também se observa que as economias desenvolvidas estão ampliando seus impactos, isto é contrário ao argumento da Curva Ambiental de Kuznets (YORK, ROSA e DIETZ, 2003).

Seguindo as pesquisas com indutores de impacto, York et al (2004) estimaram o efeito da população e riqueza para uma grande variedade de impactos ambientais globais: emissões de gases de efeito estufa (CO₂), emissões de substâncias que empobrecem a camada de ozônio (O₃) e a pegada ecológica. Os resultados deste estudo corroboram com os já citados anteriormente onde fica evidente que a população e a afluência podem ser consideradas como as principais ameaças à sustentabilidade global (YORK et al, 2004).

Xu et al (2005), com base no IPAT, desenvolveram a identidade "ImPACTS", onde "S" denota o nível de recursos sociais, "m" a gestão e "I", que era considerado o impacto, passa a ser analisado como *trade-off* entre os impactos ambientais e desenvolvimento. A partir deste modelo realizaram a análise empírica para o mundo com dados existentes da pegada ecológica (PE) e índice de desenvolvimento humano (IDH). O que o trabalho de Xu et al (2005) mostra é que países desenvolvidos possuem maior eficiência no uso dos recursos energéticos, se comparado aos países em desenvolvimento, em decorrência do seu desenvolvimento social e tecnológico e que o consumo de energia, a gestão e a

⁴ De acordo com York et al(2003), Waggoner and Ausubel usaram o modelo IPAT, dando uma nova nomenclatura, ImPACT, onde desagregaram o termo "T" em consumo por unidade do PIB ("C") e impacto por unidade de consumo ("T"). O principal objetivo do ImPACT é identificar os elementos que podem ser modificados afim de reduzir os impactos e levantar os elementos cruciais que influenciam cada fator.

mobilização de recursos sociais devem ser considerados como alternativas de mitigação dos impactos humanos sobre o meio ambiente.

Dando continuidade aos estudos, foi estimado por Dietz et al (2007) uma regressão baseada no modelo STIRPAT tendo a pegada ecológica como variável dependente e as variáveis, população total, afluência (PIB per capita), parcela da economia que não está atrelada ao setor de serviços, população urbana, proporção da população com 15 anos ou mais, área per capita de terra e variáveis binárias para diferenciar a localização dos países em trópicos, temperados e ártico, como as variáveis independentes. Nos resultados da regressão se verifica que a elasticidade da população é sutilmente menor que 1, o valor de 0,934 para o modelo total, o que indica que a mudança de 1% na população leva a uma alteração percentual quase igual em termos de impacto. Outra importante conclusão advinda do trabalho de Dietz et al (2007), pela análise da relação entre o impacto ambiental e o bem-estar humano, se identificou que a expectativa de vida e o nível educacional não estão relacionados com os impactos ambientais.

Dietz et al (2007) fizeram projeções da Pegada Ecológica para 2015 com base nos dados populacionais da ONU e nos pressupostos de crescimento econômico moderado. A projeção indica cerca de 18,1 bilhões de hectares de pegada global, indicando que , até 2015, a demanda humana vai aumentar para 1,6 planetas (demanda no período do estudo de 1,2 planetas). O que fica evidente é que, ao contrário do pressuposto da Curva Ambiental de Kusnetz, a elevação da riqueza atrelada ao aumento da população geram substanciais impactos ambientais resultando no aumento da pegada ecológica do planeta (Dietz et al, 2007).

Um estudo com foco regional, utilizando o modelo STIRPAT, foi realizado para a Província de Henan na China por Jia, Deng, Duan e Zhao em 2009. A análise demonstrou que a PE da Província de Henan dobrou durante o período de 1983 a 2006, porém a capacidade de carga ecológica, que era bastante baixa, apresentou lento declínio. O resultado destes movimentos levou ao aumento no déficit ecológico. O método utilizado para o modelo STIRPAT foi o Método dos Mínimos Quadrados Parciais (MQP), demonstrando que os principais indutores da PE foram a população (elasticidade extremamente elevada), o PIB per capita, o termo quadrático da afluência, o percentual da população não alocada no setor de serviços e a população urbana. Os resultados mostram que a relação curvilínea entre

desenvolvimento econômico e impacto ambiental (EF) ou a hipótese da Curva Ambiental de Kuznets, não se aplicam a província de Henan (Jia et al, 2009).

Em 2010 a pesquisa, com os países desenvolvidos e o modelo STIRPAT, foi realizado a partir de 3 impactos ambientais influenciados pela estrutura de idade da população, sejam eles, a emissão de gás carbônico pelo transporte, a energia residencial e o consumo de eletricidade. Uma importante contribuição do estudo foi a segmentação populacional em 3 grupos de idade: 20-34, 35-49 e 50-64. Os resultados mostram que os impactos ambientais são consideravelmente diferentes de acordo com o grupo de idade. O grupo de idade "20-34" apresentou influencia positiva no impacto ambiental, mas nem sempre significativo; no grupo "35-49" obteve significância e influência negativa; e o segmento "65-79" exerce um efeito positivo no consumo de energia residencial (LIDDLE e LUNG, 2010).

Silva et al (2011) elaboraram um trabalho para analisar os determinantes da emissão de CO₂ para os países sul-americanos (12 países)⁵ no período de 1970 a 2005. Para este estudo também foi utilizado o modelo estocástico STIRPAT. A emissão de CO₂ foi utilizada como variável dependente e o PIB per capita, a população total, a população desagregada em 3 faixas etárias de 15 em 15 anos, o percentual da população urbana e a intensidade energética representam as variáveis independentes. Foram estimados 3 modelos:

- o primeiro modelo utilizou apenas uma variável para afluência, população e tecnologia. Os resultados mostram que os indutores citados apresentam impactos significativos na emissão de CO₂ (Silva et al, 2011);

- o segundo modelo, que incluiu o PIB per capita, evidencia um comportamento semelhante a curva ambiental de Kuznets onde o "turning point" é de aproximadamente US\$ 464.211,00 (Silva et al, 2011).

- o terceiro modelo incorpora a população fragmentada em 3 faixas etárias, sendo que a faixa dos 20 a 34 anos é estatisticamente não significativa (Silva et al, 2011).

De maneira geral, Silva et al (2011) apontam em seu estudo que a população apresenta maior efeito sobre a emissão de CO₂ do que as variáveis relacionadas com afluência e tecnologia.

⁵ Os países utilizados no estudo foram: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Guyana, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela.

Liddle (2011) em seu artigo analisou 2 impactos ambientais, sejam eles, emissão de gás carbônico em função do transporte e consumo de energia elétrica. O modelo utilizado é o STIRPAT. Em relação à população, foi dividida em quatro principais grupos etários: 20-34, 35-49, 50-69 e 70 e mais. A população jovem, da faixa dos 20-34 anos, apresentou coeficientes positivos para a emissão de gás carbônico de transporte, nas outras faixas etárias os resultados foram negativos. No caso do consumo residencial de energia elétrica, a estrutura etária apresentou um impacto em formato de U, onde as faixas mais jovem e as mais velhas apresentaram coeficientes positivos, enquanto as médias apresentaram coeficientes negativos.

Um estudo mais recente realizado por Liddle (2012), analisou os países em 2 blocos: países membros da OCDE e países não membros da OCDE. Entre as conclusões do trabalho se demonstra que a elasticidade das emissões de carbono em função da renda é altamente robusta. Também se verifica que a elasticidade para os países membros da OCDE é menor que um e menor que a elasticidade-renda dos países não membro. No contraponto se observa que a elasticidade da emissão de gás carbônico da população não apresenta resultados robustos. O autor destaca que a elasticidade da população não é estatisticamente significativa e que a elasticidade da população não varia, sistematicamente, de acordo com cada nível da renda ou tamanho da população agregada.

Ainda em 2012 Liddle publicou um trabalho onde focou a atenção em 3 questões, que segundo o autor são as responsáveis por gerar resultados variados de estimação: análise de diferentes conjuntos de dados; variáveis independentes adicionais além de população e renda, que são as amplamente utilizadas; e os diversos métodos onde a dimensão de tempo e as propriedades estacionárias dos dados são consideradas. Os resultados mostram que a elasticidade de emissão de carbono da renda é muito robusta e que a elasticidade dos países da OCDE são menores que 1.

Outra importante contribuição foi a de ZHU Et Al (2012) que utilizando o método "ridge regression" para a questão da multicolinearidade, fez uma análise dos impactos do tamanho da população, estrutura da população e nível de consumo na emissão de carbono de 1978 a 2008 na China. O estudo demonstrou que os fatores de maiores impactos para a China são a estrutura populacional e o nível de consumo e não o tamanho da população, como costumeiramente muitos estudos

vem concluindo. Outro aspecto importante foi evidenciar que o impacto das famílias é mais razoável do que o impacto dos indivíduos.

Wang Et Al (2013) utilizou o modelo STIRPAT para a província Guangdong, na China de 1980-2010, examinando o impacto dos fatores populacional, nível econômico, nível tecnológico, nível de urbanização, nível de industrialização, nível de serviço, estrutura de consumo de energia e grau de comércio exterior. Na pesquisa também foi utilizado o método "ridge regression" para questão da multicolinearidade. Os resultados indicam que população, nível de urbanização, PIB per capita, nível de industrialização e nível de serviço levam ao aumento na emissão de CO₂. Por outro lado nível tecnológico, estrutura de consumo energético e grau de comércio exterior podem levar a redução na emissão de gás carbônico.

Pelos estudos realizados com indutores de impacto se conclui que os indutores "população" e "renda" apresentam, na maior parte dos estudos, os maiores impactos ambientais. Estas duas variáveis combinadas geram pressão ambiental em decorrência do aumento do consumo, aumento na geração de resíduos, entre outros fatores que levam ao impacto ambiental. No próximo capítulo será detalhada a metodologia a ser utilizada para investigar os resultados provenientes dos indutores de impacto para os países da América Latina e para os países membros da OCDE.

3 METODOLOGIA

Estudos sobre os indutores ambientais refletem o esforço da comunidade acadêmica em compreender como, quais e em que magnitude os indutores de impacto explicam a degradação do meio ambiente. A preocupação com os impactos ambientais, provenientes da ação do homem no meio ambiente tem recebido atenção desde a década de 70. Desta forma, alguns estudos buscam quantificar os impactos e identificar os principais elementos que estariam causando a constante e progressiva deterioração ambiental. O modelo clássico de avaliação dos impactos da atividade humana sobre o meio ambiente, o modelo IPAT (YORK, et al., 2003; DIETZ, et al., 2007), que posteriormente foi aperfeiçoado e melhorado por YORK, et al., (2003) resultando no modelo estocástico "STIRPAT", reflete este esforço.

No presente capítulo será apresentado o modelo STIRPAT de maneira pormenorizada, com a utilização de dados em painel com a utilização de modelos com efeitos fixos. O modelo STIRPART apresenta algumas limitações mas ainda é considerado adequado, na literatura científica, para as análises de impacto ambiental a partir dos indutores.

A maior parte dos trabalhos que utilizam o modelo STIRPAT, possuem como variável ambiental a emissão de CO₂ (ROSA E DIETZ, 2010; YORK ET AL., 2003; YORK ET AL., 2004; LIDDLE E LUNG, 2010; SILVA ET AL. 2011; LIDDLE, 2011, 2012, 2013; ZHANG E LIN, 2012; ZHU E PENG, 2012; E WANG E WU, 2013). Portanto o trabalho utilizará, além da emissão de CO₂, a Pegada Ecológica que é uma medida mais completa que reflete a pressão ambiental produzida a partir do consumo, sendo divulgado pela Global Footprint Network, e foi utilizada em alguns trabalhos com o modelo STIRPAT (YORK ET AL., 2003, 2004; XU ET AL., 2005; YORK ET AL., 2007; JIA ET AL., 2009).

Os dados utilizados na pesquisa se referem a dois blocos de países, sejam eles, América Latina e Países membro da OCDE. A escolha por estes blocos se justifica pelo fato de apresentarem características socioeconômicas similares, o que possibilita uma análise comparativa, buscando evidenciar em que medida e os motivos que explicam as diferenças dos impactos ambientais. Também cabe destacar que não há na literatura estudos com o modelo STIRPAT que façam uma

análise comparativa dos impactos ambientais da América Latina com os países membros da OCDE.

Contudo o presente capítulo tem por objetivo apresentar os indutores de impacto utilizados, as variáveis de impacto (Pegada Ecológica e emissão de CO₂), e o modelo STIRPAT, especificando o método escolhido para que assim seja possível alcançar o objetivo geral do trabalho que é verificar e mensurar quais indutores de impactos, e em que magnitude, explicam os impactos ambientais dos países que compõem a América Latina em comparação com os países membros da OCDE.

3.1 REGIÕES UTILIZADAS PARA A ANÁLISE

A pesquisa utilizou dados dos Países membros da OCDE e da América Latina, conforme Quadro 2. Liddle (2011, 2012 e 2013) compôs suas análises do modelo STIRPAT com os países membros da OCDE. Nota-se que carece na literatura estudos voltados para a realidade da América Latina e América do Sul. Dentro deste contexto foi realizado por Silva Et Al. (2011) um estudo para identificar os determinantes na emissão de CO₂ nos países sul-americanos, a partir do modelo STIRPAT.

Quadro 1 – Países da América Latina e OCDE

Países membros da OCDE ⁶	Países da América Latina
Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Coreia Rep., Luxemburgo, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polónia, Portugal, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos.	Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Equador, El Salvador, Guatemala, Haiti, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela.

Fonte: elaboração própria

Na escolha dos países é importante destacar que o México e o Chile, países membros da OCDE, foram considerados no bloco dos países da América Latina por apresentar características socioeconômicas próximas a este ultimo grupo.

⁶ Estudos que utilizaram os países membros da OCDE para suas análises: LIDDLE, 2011, 2012 e 2013

3.2 INDUTORES DE IMPACTO AMBIENTAL

A maior parte dos estudos que aplicam o modelo STIRPAT, e utilizaram a emissão de gás carbônico como medida de impacto, obtiveram como resultados a população e a renda (afluência) como os indutores mais significativos. Muitos destes estudos também concluem que a população apresenta um impacto maior do que a renda (afluência) Dietz and Rosa, 1997; Shi, 2003; York et al., 2003; Cole and Neumayer, 2004; Martinez-Zarzoso et al., 2007; Liddle and Lung, 2010).

Para o trabalho foram selecionadas as variáveis indutoras de impacto ambiental, conforme segue Tabela 3. Os indutores de impacto selecionados são os amplamente utilizados nas pesquisas com o modelo STIRPAT. Dentre eles, o indutor população, que está fragmentado em população total, população entre 15-64 anos e população urbana, será testado a fim de verificar sua significância. O estudo de Liddle (2011), “Consumption-driven environmental impact and age structure change in OECD countries: A cointegration – STIRPAT analysis” testou a influência da população, segmentada em 4 grupos etários (20-34, 35-49, 50-69 e 70 ou acima), sob os impactos ambientais, representados pela emissão de CO₂ pelo transporte e consumo de energia elétrica residencial. Liddle (2011) concluiu que os impactos da população jovem-adulta (com idade entre 20-34) tanto na emissão de CO₂ como no consumo de energia são mais intensivos do que nas outras faixas etárias.

Tabela 3 – Variáveis utilizadas no estudo

Símbolo	Definição	Fonte
Population	Número total da população	World Bank Development Indicators
pop15_64	Percentual da população entre 15-64 anos em relação à população total	World Bank Development Indicators
gdp_pc	PIB per capita	World Bank Development Indicators
Popurb	População Urbana	World Bank Development Indicators

Fonte: Elaboração própria

Cabe destacar que o trabalho não pretende inovar nos indutores de impactos. Os utilizados na presente pesquisa foram amplamente testados por diversos estudos (ROSA E DIETZ, 2010; YORK ET AL., 2003; YORK ET AL., 2004; LIDDLE E LUNG,

2010; SILVA ET AL. 2011; LIDDLE, 2011, 2012, 2013; ZHANG E LIN, 2012; ZHU E PENG, 2012; E WANG E WU, 2013).

3.3 AS VARIÁVEIS DE IMPACTO: EMISSÃO DE CO₂ E PEGADA ECOLÓGICA

Para o trabalho serão utilizados como variáveis de impacto a pegada ecológica e a emissão de gases de efeito estufa total e per capita, tendo em vista que a maior parte dos estudos com o modelo STIRPAT utiliza a emissão de CO₂. A escolha por estas variáveis deu-se em função da disponibilidade dos dados para uma gama de países e para uma série de tempo. Além destas citadas, também foram levadas em consideração algumas características peculiares que serão tratadas a seguir.

3.3.1 Emissão de CO₂

A emissão de CO₂ como medida de impacto ambiental é amplamente utilizada nos estudos (ROSA E DIETZ, 2010; YORK ET AL., 2003; YORK ET AL., 2004; LIDDLE E LUNG, 2010; SILVA ET AL. 2011; LIDDLE, 2011, 2012, 2013; ZHANG E LIN, 2012; ZHU E PENG, 2012; E WANG E WU, 2013). Esta tem sido empregada em diversas análises como medida de impacto ambiental, contudo é importante que seja utilizado métricas mais completas, que trabalhem outros aspectos além da poluição do ar. Por este motivo em alguns estudos são utilizados a pegada ecológica.

De acordo com Dietz e Rosa (1997) a emissão de gases nocivos ao meio ambiente está aumentando progressivamente e este fato pode levar a grandes mudanças no clima mundial. Há um consenso científico que afirma que o aumento das concentrações dos gases de efeito estufa estão diretamente relacionados às atividades humanas. O gás mais amplamente utilizado nas pesquisas científicas é o CO₂ (gás carbônico) em função de ser um gás extremamente agressivo ao meio ambiente e por haver disponibilidade de dados para a grande parte dos países e regiões. Conforme explica York (2003) o aumento da concentração de gases de efeito estufa gerou alterações nos ciclos bioquímicos, levando assim a severas modificações na cobertura vegetal e no aumento da extinção de algumas espécies de animais.

3.3.2 Pegada Ecológica

Existe uma relação de total dependência da humanidade em relação aos ecossistemas, aos recursos que a Terra fornece, bem como o espaço físico, onde são desenvolvidas as mais diferentes atividades. A biosfera possui uma capacidade limite de regeneração, contudo nos tempos atuais percebe-se que vem ocorrendo muitas alterações ambientais, tanto no que se refere a poluição da água, no desmatamento, na concentração de gases tóxicos na atmosfera entre outros (EWING, et al. 2010).

Com o intuito de garantir que as gerações futuras não sofram com a utilização agressiva da Terra, se faz necessário métricas para o acompanhamento da situação do planeta. Sabe-se que a maior parte dos estudos realizados com o modelo STIRPAT utilizam como variável de impacto a emissão de CO₂. Contudo é importante que as análises, que tenham por objetivo estudar os impactos ambientais, também se utilizem de outros indicadores que possam dar conta das alterações nos ecossistemas. Em 1997, por Mathis Wackernagel e seus colegas da Universidade Anáhuac de Xalapa, fizeram a primeira tentativa sistemática para o cálculo da então conhecida "Pegada Ecológica" e também da biocapacidade das nações (EWING, et al. 2010).

A pegada ecológica (PE) é uma medida mais completa, quando comparada com as outras existentes, que consegue captar a pressão exercida sobre o meio ambiente e é divulgada oficialmente pela Global Footprint Network (GFN). A pegada ecológica (ecological footprint) é uma estimativa padronizada da carga biológica da Terra, heurística utilizada mundialmente para análises da sustentabilidade. De acordo com Wackernagel e Rees (1996) a PE consegue relacionar o consumo dos recursos em função do desempenho e necessidades das atividades humanas em contraste com a capacidade que a natureza tem em suportar tais efeitos demonstrando se os impactos gerados no ambiente global são sustentáveis à longo prazo.

Outro aspecto importante da PE é que com ela é possível estabelecer comparativos, tanto entre indivíduos, como cidades, como nações. Os princípios que regem a pegada ecológica são (CIDIN e SILVA, 2004):

- Sustentabilidade: este princípio está relacionado à definição clássica da ONU (1991), que diz ser necessário satisfazer as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Ou seja, é imprescindível que a "carga humana esteja em consonância com a capacidade de suporte do ecossistema" (CIDIN e SILVA, 2004). É necessário que haja um acompanhamento sistemático de avaliação dos limites de capacidade que o ambiente possui, a fim de garantir que as presentes e futuras gerações disponham dos recursos necessários para uma vida satisfatória (Holdren e Ehrlich, 1971).

- Equidade: é a base da sustentabilidade e passa pela equidade entre gerações ao longo do tempo, pela equidade nacional e internacional em tempos atuais (dentro e entre nações) e pela equidade entre espécies. Dentro do aspecto de equidade nacional e internacional, cabe salientar que a avaliação de sustentabilidade de um país não pode se restringir às fronteiras nacionais, ela precisa ser ampla, e capaz de verificar os seus impactos em outras regiões.

- Overshoot: refere-se "ao limite existente em relação a todas energias e matérias. Ou seja, que a partir de um certo ponto, o crescimento material só pode ser adquirido às custas da depleção do capital natural e da diminuição dos serviços para a manutenção da vida (CIDIN e SILVA, 2004)".

A pegada ecológica tem um método de cálculo formado pela demanda e oferta de produtos e serviços dos ecossistemas. A demanda é a própria PE enquanto que a oferta é representada pela biocapacidade (BC). A partir da diferença entre os dois, chega-se ao saldo líquido. Quando o saldo for negativo, tem-se uma situação onde a sociedade está demandando mais do que o ecossistema pode oferecer (EWING, et al., 2010).

Os usos da terra (a- área de pastagem; b) área de florestas; c) áreas de pesca (mares, rios, lagos, etc); d) área de plantações (grãos, fibras, etc); e) área construída; e f) área necessária para sequestro de carbono) fornecem diferentes produtos à sociedade que levam a pressão no meio ambiente. A PE avalia a biocapacidade, verificando o nível de exigência de área necessária para a obtenção do produto consumido. A medida padrão é o hectare global (Gha – Global Hectare) que está inserida na equação da Pegada Ecológica da Produção (PEP), que é calculada anualmente e por país:

$$PEPI = \frac{P_i}{Y_{Ni}} * YFi * EQF \quad (5)$$

Onde:

- P_i é a quantidade produzida de um produto “i” qualquer;
- Y_{Ni} é a produtividade média nacional por hectare daquele produto;
- YFi é o fator de produtividade (yield fator);
- e EQF é o fator de equivalência de terra (equivalence fator).

A Pegada Ecológica Total é o somatório de todos os produtos que são passíveis de serem mensurados. Contudo é necessário incluir o comércio internacional no cálculo, por se tratar de uma medida com base conceitual no consumo.

$$PE_C = PE_p + PE_i - PE_e \quad (6)$$

Desta forma PE_i se refere as importações e PE_e as exportações. Contudo estas variáveis representam o quanto da pressão ambiental é enviada para outros países e o quanto é absorvida do exterior.

Tendo em vista as características da Pegada Ecológica e sabendo que se trata de uma medida adequada para a avaliação de impacto ambiental, que tem sido utilizada amplamente em estudos, a pesquisa optou por utilizá-la juntamente com a emissão de gás carbônico.

3.4 ESTRATÉGIA DE ESTIMAÇÃO DO MODELO

O presente trabalho utilizará o modelo STIRPAT, conforme já explicitado, para analisar e mensurar o impacto dos indutores ambientais na América Latina e nos países membros da OCDE. Para tal aplicar-se-á um conjunto de dados em painel. De acordo com Wooldridge (2010) os dados em painel apresentam tanto dimensões de corte transversal como de série temporal, possibilitando assim uma análise robusta e aprimorada. O uso de dados em painel com o modelo STIRPAT tem sido utilizado em vários estudos (LIDDLE e LUNG, 2010; LIDDLE, 2011; WEI, 2011;

LIDDLE, 2012; ZHANG e LIN, 2012; ZHU e PENG, 2012; LIDDLE, 2013; WANG e WU, 2013).

O modelo STIRPAT segue representado por

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e \quad (7)$$

onde I, P, A e T são os parâmetros a serem estimados, e representa o erro e o *i* indica as quantidades de I,P,A e T que variam ao longo do tempo (WANG ET AL, 2013). Em estudos empíricos a equação acima pode ser convertida em logaritmo com o seguinte formato

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (8)$$

sendo que "ln(.)" é o logaritmo natural. Este formato se refere a variação percentual do impacto ambiental causado pela alteração de 1% no fator de impacto, quando os outros fatores de influência permanecem inalterados, o que é equivalente ao coeficiente de elasticidade em economia (WANG ET AL, 2013).

Na análise com dados em painel é importante não supor que as observações sejam independentemente distribuídas aos longo do tempo, onde determinados fatores não observados podem afetar as variáveis ao longo dos períodos. Desta forma foi utilizada para as regressões o modelo de efeitos não observados ou o modelo de efeitos fixos, que também é conhecido por heterogeneidade não observada (WOOLDRIDGE, 2010). O modelo pode ser escrito como

$$y_{it} = x_{it}\beta + c_i + \varepsilon_{it}, \quad i=1,2,\dots,n; t=1,2,\dots,t \quad (15)$$

O método de Efeitos fixos é utilizado na maioria dos trabalhos com dados em painel que apresentam $Cov(c_i, x_j) \neq 0$. Com o método é possível eliminar o efeito não-observado c_i , tendo como suposição $E(\varepsilon_{it}|x_i, c_i) = 0$, onde $x_i \equiv (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{it})$ é verificada como condição de exogeneidade estrita (LOUREIRO e COSTA, 2009). Para realizar a transformação de efeitos fixos é necessário:

1º obter a média da equação no tempo:

$$\bar{y}_i = \bar{x}_i\beta + c_i + \bar{\varepsilon}_i \quad (16)$$

2ª subtrair a equação (16) da (15), onde obteremos a equação transformada de efeitos fixos

$$y_{it} - \bar{y}_i = (x_{it} - \bar{x}_i)\beta + \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i \quad (17)$$

ou

$$y_{it} = x_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad i=1,2,\dots,n; t=1,2,\dots,T \quad (18)$$

removendo assim a heterogeneidade não-observada c_i .

O modelo STIRPAT permite a incorporação de outras variáveis na equação. Desta forma, baseado no modelo 8, foram estimados 6 modelos, pelo Método dos Mínimos Quadrados, ou Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou OLS (do inglês Ordinary Least Squares), conforme seguem suas descrições e equações:

a) O modelo 1 é testado para 20 países da América Latina, no período de 2000 a 2008. As variáveis explicativas estão descritas na tabela 2 e para a variável dependente será utilizada a Pegada Ecológica. Segue o modelo

$$\ln EF_{it} = a_0 + a_2(\ln pop15_64_{it}) + a_3(\ln popurb_{it}) + a_4(\ln gdp_pc_{it}) + a_5 \ln population_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

Onde:

$pop15_64$ - população entre 15 e 64 anos; $popurb$ - população urbana; gdp_pc - PIB per capita; e $population$ - População total.

b) O modelo 2 é testado para 32 países da OCDE, no período de 2000 a 2008. As variáveis explicativas estão descritas na tabela 2 e para a variável dependente será utilizada a Pegada Ecológica. Segue o modelo

$$\ln EF_{it} = a_0 + a_2(\ln pop15_64_{it}) + a_3(\ln popurb_{it}) + a_4(\ln gdp_pc_{it}) + a_5 \ln population_{it} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

c) O modelo 3 é testado para 20 países da América Latina, no período de 2000 a 2008. As variáveis explicativas estão descritas na tabela 2 e para a variável dependente será utilizada a Emissão de gás Carbônico per capita. Segue o modelo

$$\ln Dioxido_{it} = a_0 + a_2(\ln pop15_64_{it}) + a_3(\ln popurb_{it}) + a_4(\ln gdp_pc_{it}) + a_5 \ln population_{it} + eit(13)$$

Onde:

pop15_64 - população entre 15 e 64 anos; *popurb* - população urbana; *gdp_pc* - PIB per capita; e *population* - População total.

d) O modelo 4 é testado para 32 países da OCDE, no período de 2000 a 2008. As variáveis explicativas estão descritas na tabela 2 e para a variável dependente será utilizada a Emissão de gás Carbônico per capita. Segue o modelo

$$\ln Dioxido_{it} = a_0 + a_2(\ln pop15_64_{it}) + a_3(\ln popurb_{it}) + a_4(\ln gdp_pc_{it}) + a_5 \ln population_{it} + eit(14)$$

e) O modelo 5 é testado para 20 países da América Latina, no período de 2000 a 2008. As variáveis explicativas estão descritas na tabela 2 e para a variável dependente será utilizada a Emissão de gás Carbônico total. Segue o modelo

$$\ln Dioxido_to_{it} = a_0 + a_2(\ln pop15_64_{it}) + a_3(\ln popurb_{it}) + a_4(\ln gdp_pc_{it}) + a_5 \ln population_{it} + eit(13)$$

Onde:

pop15_64 - população entre 15 e 64 anos; *popurb* - população urbana; *gdp_pc* - PIB per capita; e *population* - População total.

f) O modelo 6 é testado para 32 países da OCDE, no período de 2000 a 2008. As variáveis explicativas estão descritas na tabela 2 e para a variável dependente será utilizada a Emissão de gás Carbônico total. Segue o modelo

$$\ln Dioxido_{to_{it}} = a_0 + a_2(\ln pop15_{64_{it}}) + a_3(\ln popurb_{it}) + a_4(\ln gdp_{pc_{it}}) + a_5 \ln population_{it} + e_{it} \quad (14)$$

No próximo capítulo serão apresentados os resultados das estimações do modelo STIRPAT, conforme detalhado neste capítulo, buscando analisar os resultados das estimações dos seis modelos propostos para a América Latina e OCDE.

4 RESULTADOS

Tendo em vista o objetivo do trabalho que é identificar e analisar os indutores de impacto que explicam os impactos ambientais nos países que compõem a América Latina e os países membros da OCDE, foram estimados 6 modelos pelo método dos efeitos-fixos, conforme detalhado no capítulo anterior.

Para os modelos testados foram selecionadas as variáveis amplamente testadas nas pesquisas relacionadas aos impactos ambientais, as quais foram citadas ao longo da revisão de literatura (York, et al, 2003; Liddle, 2010; Dietz e Rosa, 1994; e Dietz et al., 2007). Tendo como foco o modelo estocástico STIRPAT, as variáveis utilizadas se apresentam em dois grupos principais (maior detalhamento das variáveis se encontra na tabela 3):

- Variáveis relacionadas com pressão populacional: População Total (population), percentual da população urbana em relação ao total (popurb); e percentual da população na faixa de idade de 15 a 64 anos (pop15_64).

- Variável relacionada com a afluência: PIB per capita corrente - US\$ (gdp_pc).

Os modelos IPAT e STIRPAT tem como pressuposto básico a relação da população, afluência e tecnologia no impacto ambiental. Desta maneira o presente estudo se utilizou de variáveis que pudessem compor esta relação. No entanto a tecnologia não está explicitamente no modelo mas indiretamente relacionada com as variáveis populacionais e afluência.

Na tabela 4 estão dispostas as estatísticas descritivas das variáveis explicativas utilizadas para as estimações do modelo em painel. Pelos dados expostos se nota que, com exceção da variável população de 15 a 64 anos, todas as variáveis apresentam certo grau de variabilidade representando a heterogeneidade dos países (América Latina e OCDE). No que se refere aos coeficientes de variação ($CV = \text{Desvio-padrão}/\text{média}$) a população apresenta valor superior a 100%.

Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis explicativas utilizadas no modelo em painel

Variável	Obs	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
pop15_64	468	65,01	4,19	51,89	72,44	6,4%
popurb	468	72,88	13,25	35,60	97,39	18,2%
gdp_pc	468	19638,77	18969,36	314,19	112028,50	96,6%

population	468	3,08	5,08	281205,00	3,04	164,9%
------------	-----	------	------	-----------	------	--------

Fonte: elaborado pelo autor

Dando sequencia na análise dos dados, o quadro 2 é a matriz de correlação das variáveis explicativas do modelo em painel. Observa-se que há algumas correlações superiores a 0,5 sejam elas: população e pegada ecológica; emissão de gás carbônico e PIB per capita; emissão de gás carbônico e percentual da população entre 15 a 64 anos. Nota-se que de imediato não há indícios de multicolinearidade nos dados.

Na literatura existem algumas classificações para a correlação. No presente estudo se utilizou a classificação de Cohen (1988), onde valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; entre 0,30 e 0,49 médios; e entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Sendo assim, nota-se que há uma alta correlação positiva entre a variável independente "população" e a variável dependente "pegada ecológica", também há correlação positiva entre emissão de dióxido com população entre 15 a 64 anos e com PIB per capita.

Quadro 2 - Matriz de Correlação

	Ef	dioxido	dioxido_to	pop15_64	popurb	gdp_pc	population
Ef	1,0000						
dioxido	0,3772	1,0000					
dioxido_to	0,2719	0,2588	1,0000				
pop15_64	0,1608	0,6053	0,2992	1,0000			
popurb	0,1716	0,4234	0,2320	0,3967	1,0000		
gdp_pc	0,1839	0,6921	0,1431	0,4452	0,3993	1,0000	
population	0,9204	0,2246	0,4483	0,1392	0,1895	0,0721	1,0000

Fonte: elaborado pelo autor

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados provenientes das estimações dos 6 modelos, conforme tabela 5. As estimações foram realizadas com modelo de efeitos fixos, por se tratar de dados em painéis e pela possibilidade de eliminar o efeito não-observado nas estimações, onde caso fosse ignorado poderia levar a erros de estimação.

O primeiro modelo estimado, que utilizou a pegada ecológica como termo dependente para os países da América Latina, apresentou como variável significativa a população total e o PIB per capita. Sendo assim, dado um aumento

na população total e na renda per capita, haveria conseqüentemente uma elevação, diretamente proporcional, nos valores da pegada ecológica para a América Latina.

Para a estimação do modelo 2, também foi utilizada a pegada ecológica, porém para os países da OCDE. O PIB per capita foi a única variável que apresentou valor significativo. Os resultados deste modelo mostram que o impacto está associado ao PIB per capita, aqui considerada uma medida de crescimento econômico, onde um aumento de 10% no índice do PIB per capita resultaria na elevação da pegada ecológica em proporção de 0,7%.

O terceiro modelo utiliza como variável de impacto o dióxido de carbono per capita para analisar os países da América Latina. As variáveis significativas deste modelo foram: população de 15 a 64 anos de idade, percentual de população urbana e PIB per capita. Verifica-se que havendo aumento no percentual da população de 15 a 64 anos, no percentual de população urbana e no PIB per capita, se obteria aumento na emissão de gás carbônico. Os motivos que explicam estes resultados estão descritos na sequência.

Tabela 5 – Resultados da estimação dos modelos

Variáveis	Modelo 1 PE - América Latina	Modelo 2 PE - OCDE	Modelo 3 CO2 Per Capita - América Latina	Modelo 4 CO2 Per Capita - OCDE	Modelo 5 CO2 Total - América Latina	Modelo 6 CO2 Total - OCDE
lpop15_64	- 0,5817419	0,3590013	2,65177 ***	0,4462783	2,6444760 ***	1,9216640 **
	0,6552143	0,8419059	0,9067442	0,5229194	0,9011005	0,7860540
Lpopurb	0,3661038	-0,1938123	0,9268506 ***	0,0308801	0,9896263 ***	0,7862382 *
	0,2237542	0,4560966	0,3096511	0,3005656	0,3077237	0,4518111
lgdp_pc	0,0772003 ***	0,0698436 ***	0,0973197 ***	0,0407427 ***	0,0976195 ***	0,0091095
	0,0245382	0,0223848	0,0339582	0,0144729	0,0337468	0,0217558
Lpopulation	0,9934236 ***	0,2773393			0,1148042	0,9102549 ***
	0,2727860	0,2686471			0,3751560	0,2589736
_cons	- 1,1156450	12,1478000	-0,8147831	7,6425730	7,7405810	15,1587800
	2,8503280	5,1119700	3,944539	3,3649450	3,9199880	5,0581960
R-sq: within	0,5089	0,1167	0,3430	0,0531	0,5833	0,2031
Between	0,9130	0,9170	0,0012	0,0071	0,6541	0,3845
Overall	0,9112	0,9131	0,0009	0,0071	0,6464	0,3840
N	180	279	180	288	180	288
F	40,41	8,06	20,36	3,53	54,59	16,06

F(4,156)

F(4,244)

F(4,244)

F(4,244)

F(4,244)

F(4,244)

*p<0,10; **p<0,05; ***p<0,01

O quarto modelo estimado para o bloco de países da OCDE, tendo o dióxido de carbono per capita como variável explicada, apresentou somente uma variável significativa: o PIB per capita. Sendo assim, um aumento no PIB per capita levaria a um aumento na emissão de gás carbônico per capita, uma relação diretamente proporcional.

Para o modelo 5 e 6 foi utilizado o dióxido de carbono total como variável dependente. O resultados mostram que os indicadores "população entre 15 e 64 anos", "população urbana" e "PIB per capita" apresentaram valores significativos na regressão. O modelo 6 obteve a "população entre 15 e 64 anos", "população urbana" e "população total" com os valores significativos.

Os resultados dos modelos refletem os pressupostos básicos do modelo STIRPAT onde reafirma que a afluência ou crescimento econômico é um importante indutor de impacto ambiental (YORK, et al, 2003). O aumento do crescimento econômico vem acompanhado do aumento do consumo, do aumento da geração de resíduos e conseqüente impacto ambiental, que neste caso está sendo representada pela Pegada ecológica, variável que consegue captar a pressão exercida sobre o meio ambiente e que foi detalhada anteriormente. Estes resultados estão associados aos países da América Latina e aos países da OCDE. Interessante perceber que o PIB per capita, tradutor do nível de produção de um país, tem significância em quase todosos resultados dos modelos.

Contudo para o modelo 6 o PIB per capita não apresentou significância, este resultado não reflete a maioria dos estudos (ROSA E DIETZ, 2010; YORK ET AL., 2003; YORK ET AL., 2004; LIDDLE E LUNG, 2010; SILVA ET AL. 2011; LIDDLE, 2011, 2012, 2013; ZHANG E LIN, 2012; ZHU E PENG, 2012; E WANG E WU, 2013).

A população é vista na literatura como um dos principais indutores ambientais, seguindo esta lógica, os modelos 1 e 6, que são respectivamente o modelo para a América Latina com a pegada ecológica como termo dependente e o modelo da OCDE também com a emissão de CO₂ total, mostram que dado um aumento na população, conseqüentemente haverá aumento na pegada ecológica e emissão de CO₂ Total. A variável população não foi calculada para o modelo 3 e 4, pois não faz

sentido avaliar o impacto da população na variável dependente que é per capita (CO₂ per capita).

Ainda sobre o aspecto da população, o modelo 3, 5 e 6 mostram que a população de 15 a 64 anos, considerada a população economicamente ativa, é responsável pelo significativo valor de emissão de CO₂ total e per capita para a América Latina e emissão per capita para a OCDE, o mesmo não se observa nos outros modelos. O resultado é condizente com o estudo de Fan Et Al. (2006) concluindo que a proporção da população entre 15 a 64 anos de idade apresenta um impacto positivo para os países que não possuem elevado nível de renda.

No que se refere a população urbana, a mesma é significativa nos modelos que tem como foco de análise a América Latina e a emissão de CO₂ como variável dependente. O processo de urbanização exerce grande pressão sobre o meio ambiente, pois este vem associado ao aumento das atividades econômicas, aumento do consumo e conseqüente aumento na geração de resíduos e emissão de gases de efeito estufa. Segundo Cole e Neumayer (2004), o aumento na emissão de gás carbônico está relacionado ao processo de urbanização pois esta última faz parte do processo de desenvolvimento de uma região e o mesmo não é acompanhado, necessariamente, pela utilização de meios de transportes eficientes que poderiam levar a redução de CO₂. O que se observa em países em processo de urbanização é a utilização massiva de transporte rodoviário, o que pode explicar, de certa forma, o porquê da urbanização apresentar valores significativos na emissão de CO₂ da América Latina.

Pelos resultados das estimações, os pressupostos do modelo STIRPAT, aplicado ao países da OCDE e América Latina, foram em certa medida observados. Alguns resultados mostram que determinados indicadores não apresentaram significância para explicar o modelo. Cabe salientar que a utilização de dados em painel é um tanto complexa e é justificável que alguns resultados não sejam exatamente iguais aos diferentes trabalhos na literatura vigente. Isto porque em primeiro lugar a maior parte dos estudos não utilizam modelos em painel, em segundo porque os estudos utilizam diferentes bases de dados e em terceiro porque neste painel se utilizou 3 variáveis de impacto, a pegada ecológica, a emissão de gás carbônico e a emissão de gás carbônico per capita. Destaca-se que há raros estudos que utilizam as três variáveis, como pode ser observado na tabela 2 que

traz a revisão dos estudos que utilizam o modelo STIRPAT. Outro fator importante é que existe uma enorme variedade de estudos com foco nos países ricos, e alguns estudos com foco regional - principalmente uma literatura crescente na China - mas há carência de estudos sobre os indutores de impacto para a América Latina. A América Latina representa um grande potencial de crescimento econômico e populacional para as próximas gerações, o que poderá levar ao aumento exponencial dos impactos ambientais. Desta forma, outros estudos que tenham por enfoque os indutores de impacto ambiental para a América Latina poderão ajudar na condução assertiva e qualitativa das políticas públicas em prol do desenvolvimento sustentável das diferentes regiões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho utilizou o modelo STIRPAT para analisar os indutores de impacto ambiental nos países da América Latina e nos países membros da OCDE, no período compreendido entre 2000 a 2008. O modelo STIRPAT apresenta algumas limitações, porém é o modelo amplamente utilizado para análise de indutores de impacto ambiental e também oferece uma medida de elasticidade para as análises, demonstrando quanto de variação percentual é explicada pelos diferentes indutores ambientais.

Sendo assim, foram estimados seis modelos, três deles para a realidade da América Latina e três deles para os países da OCDE. A inovação do trabalho está em utilizar o modelo STIRPAT para estes dois blocos de países, com a aplicação da emissão de CO₂ total, emissão de CO₂ per capita e da pegada ecológica, concomitantemente, a fim de identificar como os indutores de impacto se comportam para regiões com diferentes níveis de crescimento econômico.

Como principais resultados se observa que a população total apresenta impacto relevante na pegada ecológica da América Latina e na emissão de CO₂ per capita da OCDE. Este resultado corrobora, de certa maneira, com os estudos sobre indutores ambientais, onde afirmam que a população, juntamente com a renda, são os mais importantes indutores para explicar o impacto ambiental. Afinal mais população, associada a maior renda, significa mais consumo, mais resíduos, mais fábricas, mais automóveis na ruas, entre outros.

Para a América Latina a população urbana é um fator muito importante para explicar o impacto ambiental, sendo que os coeficientes apresentaram valores significativos tanto para a estimação com emissão de gás carbônico total a emissão de gás carbônico per capita. O processo de urbanização nos países em desenvolvimento implica em diversos resultados, pois este processo está associado ao aumento do potencial de consumo, de produção e da utilização do transporte rodoviário (carros, caminhões, etc), responsáveis pela geração de resíduos industriais, urbanos e emissão de gases, que influenciam e impactam no meio ambiente.

Para todos os modelos, com exceção do modelo 6, o PIB per capita apresentou valores altamente significativos. Desta forma cabe novamente lembrar

que se trata de uma medida de impacto do consumo. Assim conforme aumenta o PIB per capita de um país, conseqüentemente haverá aumento no consumo de bens e serviços e assim na geração de resíduos e poluentes que levaram aos impactos ambientais.

De maneira geral o estudo vai ao encontro dos principais resultados dos estudos sobre indutores ambientais a partir da utilização do modelo STIRPAT, salvo algumas particularidades apresentadas nos resultados. Importante destacar que se faz necessário realizar alguns testes para a verificação de multicolinearidade, correlação e heterogeneidade.

Para futuros estudos se espera realizar com maior rigor as estimações, realizar a análise individual dos países e fazer uma análise comparativa entre os blocos. Também é indicada a utilização de outros métodos que possam ajudar na discussão dos indutores de impacto ambiental, tendo em vista que estes estudos podem servir como referência para a elaboração de políticas públicas de longo prazo que tenham como foco mitigar os impactos econômicos, sociais e econômicos dos países.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAES, R. Et al. **Curva Ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável**. Rio de Janeiro: vol. 44, nº 03, p. 525-547, 2006.

ARROW, K. et al. **Economic growth, carrying capacity, and the environment**. *Science*, Washington, v. 268, p. 520-1, 1995.

CARSON, R. **Silent Spring**. New York, Mariner Books.2002

CAVLOVIC, T. A., et al. **"A meta-analysis of environmental Kuznets curve studies."** *Agricultural and Resource Economics Review* 29.1 (2000): 32-42.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. **A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial**. *Estudos Econômicos*, v.40, n.3, p.587-505. Julho-setembro de 2010.

CAVLOVIC, T. A. et al. **A meta-analysis of environment Kuznets curve studies**. *Agricultural and Resource Economics Review*, v.29, n.1, p. 32-42, 2000.

CHERTOW, M. R. The IPAT equation and its variants: changing views of technology and environmental impact. **Journal of Industrial Ecology**, v.4, n.4, p. 13-29, 2001.

CIDIN, R. J.; SILVA, R. S. **Pegada ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural**. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 2(1): p. 43-52, junho - 2004.

COLE, M. A. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. **Ecological Economics**, v. 48, p. 71-81, 2004.

COLE, T. A.; RAYNER, A.J.; BATES, J.M. The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. **Environment and Development Economics**, v.2, p. 401-16, 1997.

COLE, M., Neumayer, E., 2004. **Examining the impact of demographic factors on air pollution**. *Population and Environment* 26 (1), 5e21.

CORAZZA, R. I.. **"Tecnologia e meio ambiente no debate sobre os limites do crescimento: notas à luz de contribuições selecionadas de Georgescu-Roegen."** *Revista Economia* 6.2 (2005): 435-461.

DIAS, R; **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 2.ed.São Paulo: Atlas, 2011.

DIETZ, T.; ROSA, E.A. **Effects of population and affluence on CO2 emissions**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, v. 94, n.1, p.175-9, 7 jan. 1997.

____. A. **Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology.** Human Ecology Review, v.1, p. 277-300, 1994.

DIETZ, T.; ROSA, E.A.; YORK, R. **Driving the human ecological footprint.** Frontiers in Ecology and the Environment, Washington DC, v.5, n. 1, p. 13-8, 2007.

DINDA, S. **Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A survey.** Ecological economics. p. 431-455, 2004.

EHRlich, P.R.; HOLDREN, J. P. **Impact of Population Growth.** Science, New Series, vol. 171, n. 3977, p. 1212-1217, 1971.

EWING B., A. Reed, A. Galli, J. Kitzes, and M. Wackernagel. 2010. **Calculation Methodology for the National Footprint Accounts**, 2010 Edition. Oakland: Global Footprint Network.

FERNANDEZ, Brena Paula Magno. "Ecodesenvolvimento, desenvolvimento sustentável e economia ecológica: em que sentido representam alternativas ao paradigma de desenvolvimento tradicional?." Desenvolvimento e Meio Ambiente 23 (2011).

GOMES, P.R. **Indicadores ambientais na discussão da sustentabilidade:** uma proposta de análise estratégica no contexto do etanol de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Universidade de São Paulo, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

JACOBI, P.R. **Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo.** Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233-250, maio/ago. 2005

JIA, J., et al. "**Analysis of the major drivers of the ecological footprint using the STIRPAT model and the PLS method—A case study in Henan Province, China.**" Ecological Economics 68.11 (2009): 2818-2824.

KIMPARA, Eduardo Tomoharu Chaves. "Crescimento populacional: obstáculo ao desenvolvimento sustentável?." Encontro Nacional de Estudos Populacionais 17 (2010).

KUZNETS, S. **Economic growth and income inequality.** The American Economic Review, Pittsburgh, v.45, n.1. p. 1-28, mar. 1955.

LIDDLE, B., Lung, S., 2010. **Age structure, urbanization, and climate change in developed countries:** revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. Population and Environment, 31, 317 e 343.

MALHEIROS, T. F. ET AL. **Agenda 21 Nacional e Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: contexto brasileiro.** São Paulo: Saúde Sociedade São Paulo. V.17, n.1, 2008. p.7-20.

MARTINEZ-ZARZOSO, I., Benochea-Morancho, A., Morales-Lage, R., 2007. **The impact of population on CO2 emissions: evidence from European countries.** Environmental and Resource Economics 38, 497e512.

MATTOS, E. J. **Desenvolvimento e meio ambiente: o papel dos indutores de impacto.** Porto Alegre: PPE/UFRGS, 2012. (Dissertação de mestrado)

MIKHAILOVA, I. **Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática.** Revista Economia e Desenvolvimento, Santa Maria, n. 16, 2004.

MORRIS, Morris David, and Florizelle B. Liser. The PQLI: measuring progress in meeting human needs. Vol. 32. Overseas Development Council, 1977.

NETO, W. J. S. **Síntese que organiza o olhar: uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses.** Rio de Janeiro: Escola Nac. de Ciências Estatísticas, 2006. 121 p.

NETO, J. M. Et al. **Análise de indicadores ambientais no reservatório do passaúna.** Paraná: IX ENGEMA. 2007. 15p.

RAUL, S.et al. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países.** Campinas: Ambiente e Sociedade, v.X, n.2, P.137-148, 2007.

ROMEIRO, A.R. **Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica.** Estudos avançados 26(74), 2012.

SACHS, I. **Estratégia de Transição para o Século XXI.** São Paulo: Nobel, 1993.

SHAFIK, N; BANDYOPADHAYAY, S. Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence. **Background Paper for the World Development Report**, Washington D.C.: World Bank, 1992.

SHI, A., 2003. **The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975 e 1996: evidence from pooled cross-country data.** Ecological Economics 44, 29 e 42.

SILVA, F. et al. **Determinantes da emissão de CO2 por uso de combustíveis fósseis para países sul-americanos, a partir da abordagem STIRPAT.** IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Brasília, 2011.

SELDEN, T.; SONG, D. **Environmental quality and development: is there a kuznets curve for air pollution emissions?** Journal of Environmental Economics and Management, v. 27, p. 147-62, 1994.

STERN, D. I. et al. **Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development.** World Development, v. 24, n. 7, p. 1151-60, 1996.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth**. 6. ed. Canada: New Society Publishers, p.160, 1996.

WANG, P. ET AL. **Examining the impact factors of energy-related co2 emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China**. Applied Energy, 65-71, 2013.

World Commission On Environment and Development. Our common future. Oxford, Oxford Press. 1987

WANG, Ping, et al. **"Examining the impact factors of energy-related CO2 emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China."** Applied Energy 106 (2013): 65-71.

YORK, R.; ROSA, E.A.;DIETZ,T. **Bridging environmental science with environmental policy: plasticity of population, affluence, and technology**. Social Science Quarterly, v. 83, n. 1, p. 18-34, mar.2002.

_____.**Footprints on the Earth: the environmental consequences of modernity**. American Sociological Review, Washington DC, v. 68, n. 2, p. 279-300, abr. 2003.

_____.**STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts**. Ecological Economics 46, p. 351-365, 2003.

TORRAS, M.; BOYCE, J.K. **Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve**. Ecological Economics, 25, 147-69, 1998.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2006.

XU, Z.; CHENG, G.; QIU, G. **"ImPACTS Identity of Sustainability Assessment."** Acta Geographica Sinica 2 (2005): 003.

ZHANG, C.; LIN, Y. **"Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO2 emissions: A regional analysis in China."** Energy Policy 49 (2012): 488-498.