

# Convergência para o Consumo de Energia Elétrica no Paraná: abordagem estática e dinâmica\*

*Convergence for Electricity Consumption in Paraná:  
static and dynamic approach*

*Convergencia para el Consumo Eléctrico en Paraná:  
énfoque estático y dinámico*

---

Táise Fátima Mattei\*\*  
José Luiz Parré\*\*\*

---

## RESUMO

O consumo de energia elétrica foi utilizado para testar a hipótese da convergência para os municípios paranaenses de 2002 a 2016. Foi estimada convergência estática e dinâmica nas formas absoluta e condicional. Para a estimação utilizou-se painel de dados e painel dinâmico. Os dados confirmaram a existência de convergência estática e dinâmica, absoluta e condicional no consumo de energia elétrica dos municípios paranaenses. A convergência condicional mostrou-se relativamente mais forte que a convergência absoluta em todas as especificações. Embora se tenha descoberto convergência no consumo de energia elétrica, a velocidade de convergência foi relativamente baixa, gerando tempo de meia vida bastante alto. Assim, sugere-se que políticas de controle de energia elétrica podem ainda não ser eficientes no Estado do Paraná, já que os municípios ainda precisam elevar o consumo para garantir o crescimento econômico.

*Palavras-chave:* Convergência Absoluta. Convergência Condicional. GMM. Máxima verossimilhança. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The electricity consumption was used to test the hypothesis of convergence for the municipalities of Paraná from 2002 to 2016. Static and dynamic convergence was estimated in absolute and conditional forms. Data panel and dynamic panel were used for estimation. The data confirmed the existence of static and dynamic convergence, absolute and conditional in the consumption of electricity in the municipalities of Paraná. Conditional

---

\* O presente artigo contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

\*\* Doutora em Teoria Econômica pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil. Professora Colaboradora na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: [taise\\_mattei\\_slo@hotmail.com](mailto:taise_mattei_slo@hotmail.com)

\*\*\* Doutor em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. Professor titular do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: [jlparré@uem.br](mailto:jlparré@uem.br)

Artigo recebido em junho/2022 e aceito para publicação em agosto/2022.

*convergence was relatively stronger than absolute convergence in all specifications. Although convergence in electricity consumption was discovered, the convergence speed was relatively low, generating a very high half-life time. Thus, it is suggested that electricity control policies may not yet be efficient in the State of Paraná, since municipalities still need to increase consumption to ensure economic growth.*

*Keywords: Absolute Convergence. Conditional Convergence. GMM. Maximum likelihood. Sustainability.*

#### RESUMEN

*El consumo de electricidad se utilizó para probar la hipótesis de convergencia para los municipios de Paraná de 2002 a 2016. La convergencia estática y dinámica se estimó en formas absolutas y condicionales. Para la estimación se utilizaron el panel de datos y el panel dinámico. Los datos confirmaron la existencia de convergencia estática y dinámica, absoluta y condicional en el consumo de electricidad en los municipios de Paraná. La convergencia condicional fue relativamente más fuerte que la convergencia absoluta en todas las especificaciones. Aunque se descubrió la convergencia en el consumo de electricidad, la velocidad de convergencia fue relativamente baja, generando un tiempo de vida media muy alto. Por lo tanto, se sugiere que las políticas de control de la electricidad aún no son eficientes en el Estado de Paraná, ya que los municipios aún necesitan aumentar el consumo para garantizar el crecimiento económico.*

*Palabras clave: Convergencia absoluta. Convergencia condicional. GMM. Máxima probabilidad. Sostenibilidad.*

## INTRODUÇÃO

A convergência é uma importante teoria econômica que foi originalmente aplicada para investigar a convergência da renda *per capita* em diferentes regiões e países. De acordo com a teoria do crescimento, se regiões internas de um país estão abertas umas para as outras, sob um mecanismo de mercado e limitado pela lei dos retornos decrescentes, a livre mobilidade de fatores produzirá um efeito corretivo sobre qualquer desequilíbrio no desenvolvimento econômico regional, levando a renda *per capita* em diferentes regiões a tender ao equilíbrio (HAO; PENG, 2017).

Embora a convergência de renda no Brasil seja um tema bastante estudado, a convergência do consumo de energia elétrica é pouco explorada e permitirá uma nova abordagem, possibilitando amplas discussões também sobre o problema ambiental. Em nível internacional, a convergência no consumo de energia elétrica, e outros tipos de energia, associada à qualidade ambiental, já é discutida e justificada devido aos problemas de escassez de energia e degradação ambiental. Trabalhos como os de Hao e Peng (2017) e Mohammadi e Ram (2017) utilizam esta abordagem.

Diante disso, o presente estudo traz o seguinte questionamento: Os municípios paranaenses estão convergindo em termos de consumo de energia elétrica *per capita*? Assim, o objetivo, aqui, é utilizar a hipótese da convergência e testá-la e aplicá-la aos municípios do Estado do Paraná empregando para tal o consumo de energia elétrica no período de 2002 a 2016.

O Paraná possui área de aproximadamente 200 mil km<sup>2</sup>, a qual abrange 399 municípios onde residem cerca de 11 milhões de pessoas. O Estado possui muita diversidade, com municípios bem desenvolvidos, que consomem muita energia, e outros menores, com pouco consumo. Em 2017 era o quinto estado do Brasil em IDH e PIB, e em 2020 o quarto maior produtor de energia do Brasil e quarto maior consumidor (IBGE, 2020; ANEEL, 2020). Pela importância do Estado no Brasil, e pela carência de estudos como este na literatura, a presente pesquisa torna-se justificável.

A convergência do consumo de energia elétrica procura testar se existe uma relação negativa entre taxa de crescimento do consumo de energia e o consumo de energia no período inicial. Se isto for verificado, o consumo de energia de regiões mais pobres tende a crescer a taxas mais rápidas do que as do consumo nas economias mais ricas, de modo que atinjam um equilíbrio no longo prazo, implicando no processo de equalização do consumo de energia.

Dessa forma, infere-se que o consumo de energia, como um bom indicador da atividade econômica, pode captar a possível convergência, ou seja, a convergência em consumo de energia implicaria a existência de convergência econômica. Dado que muitos trabalhos encontram evidências de convergência econômica, vale a pena investigar a convergência no consumo de energia elétrica.

Bloch, Rafiq e Salim (2012) relataram que se a convergência puder ser verificada, torna-se mais fácil os governantes formularem políticas para conter o consumo total de energia com vistas à melhoria da qualidade ambiental. Dessa forma, políticas específicas e direcionadas a diferentes regiões podem controlar o uso de energia. Por exemplo, para regiões com alto consumo, regras mais rigorosas podem ser elaboradas, visando a um desenvolvimento sustentável. Já para regiões com baixo consumo relativo de energia, a convergência implica que o potencial de redução da demanda de energia é limitado.

Jobert, Karanfil e Tykhonenko (2010) afirmaram que se a convergência no consumo de energia *per capita* realmente existir, é possível que a utilização total de energia possa ser mantida sob controle e, assim, permitir maior sustentabilidade para esse setor. De acordo com Mishra e Smyth (2014), evidências de rápida convergência energética e taxas de crescimento relativamente modestas sugerem que as metas para conter o crescimento no consumo de energia são viáveis.

Este artigo está organizado em quatro seções, além desta introdução. A primeira parte traz uma revisão da literatura sobre o tema da convergência. A segunda seção apresenta a metodologia utilizada. Na sequência têm-se os resultados e discussão, e, por último, vêm as considerações finais.

## 1 CONVERGÊNCIA

Na literatura existem dois tipos tradicionais de convergência: a convergência condicional e a convergência incondicional ou absoluta. Na convergência condicional as economias pobres crescem mais rapidamente que as ricas desde que apresentem aspectos estruturais comuns, como estrutura produtiva, tecnologia, crescimento populacional, entre outros, mas independe das diferenças das condições iniciais em que essas economias se encontram. Ou seja, espera-se que países ou regiões semelhantes em vários aspectos, exceto no nível inicial de produto *per capita*, a converjam para o mesmo nível de renda no longo prazo e, portanto, entre si. Esta hipótese está relacionada ao fato de que cada economia é caracterizada por um equilíbrio único, globalmente estável em estado estacionário. Já na convergência incondicional as economias mais pobres tendem a convergir para o nível de renda das economias mais ricas independentemente do nível inicial ou de outras características (BARRO; SALA-i-MARTIN, 1991; GALOR, 1996).

Sala-i-Martin (1995) aponta que a convergência absoluta pode falhar, surgindo daí o conceito de convergência condicional. O argumento do modelo neoclássico que diz que os países inicialmente pobres crescerão mais rápido que os inicialmente ricos se apoia no pressuposto de que a única diferença entre os países está em seus níveis iniciais de capital. No entanto, no mundo real as economias podem diferir em outras coisas, como em seus níveis de tecnologia, poupança, população etc. Diferentes

economias têm diferentes parâmetros tecnológicos e comportamentais, então terão diferentes estados estacionários. As hipóteses de convergência condicional e absoluta coincidem apenas se todas as economias tiverem o mesmo estado estacionário. Por isso, para testar a hipótese de convergência condicional, é preciso manter constante o estado estacionário de cada economia. Isto é feito inserindo variáveis adicionais no modelo.

Existe também a distinção entre dois tipos de convergência, a convergência  $\beta$  e a convergência  $\alpha$ . A primeira refere-se às economias pobres que crescem mais rapidamente que as ricas, e a segunda envolve um declínio ao longo do tempo na dispersão transversal da renda ou produto per capita. A convergência  $\beta$  procura analisar quão rapidamente, e até que ponto, a renda per capita entre as economias converge. Já a convergência  $\alpha$  procura responder como a distribuição de renda per capita entre as economias se comportou no passado e é provável que se comporte no futuro (BARRO; SALA-i-MARTIN, 1991; SALA-i-MARTIN, 1995).

A análise de convergência ainda pode ser obtida de várias formas, segundo a literatura. As formas adotadas neste trabalho são chamadas de convergência estática e convergência dinâmica, podendo ser verificadas na forma condicional ou absoluta.

Na convergência chamada de estática, a taxa de crescimento da variável de estudo é calculada considerando todo o período em que estiverem disponíveis os dados, e a variável para captar a convergência é a variável no ano-base escolhido. Já para a convergência dinâmica considera-se a taxa de crescimento da variável escolhida de um período para o outro, e a variável para detectar a convergência é a variável da observação do tempo anterior.

Embora a aplicação do consumo de energia elétrica para testar a hipótese da convergência ainda seja escassa na literatura nacional, a análise da convergência utilizando vários tipos de consumo de energia é tema já explorado pela literatura internacional.

Hao e Peng (2017) investigaram a convergência do consumo de energia usando dados de painel para o período 1994-2014 para 30 províncias chinesas. Os resultados indicaram que existia tanto convergência absoluta como condicional no consumo de energia *per capita* em todas as províncias. Entre os fatores que influenciaram o consumo de energia, o valor agregado da indústria secundária e o PIB tiveram relação positiva, porém o investimento estrangeiro direto *per capita* não afetou significativamente o consumo de energia. Mohammadi e Ram (2017) exploraram a convergência absoluta e condicional no consumo de energia *per capita* nos estados dos EUA no período 1970-2013. Utilizaram abordagens paramétricas e não-paramétricas e concluíram um panorama de falta de convergência entre os estados no consumo de energia *per capita*, sugerindo certo grau de estabilidade na distribuição estadual do consumo *per capita* e baixa probabilidade de mudança significativa na distribuição.

Ao estudar os padrões de crescimento entre países, a convergência refere-se a economias atualmente mais pobres terem a oportunidade de acompanhar as economias atualmente mais ricas. Neste trabalho, no entanto, é verificada a convergência  $\beta$ , condicional e incondicional apenas, utilizando como princípio chave não a renda, mas sim o consumo *per capita* de energia elétrica, inserindo também a análise de convergência estática e dinâmica. São utilizados para tanto os municípios do Estado do Paraná no período de 2002 a 2016. Assim, o objetivo é verificar se municípios que possuem consumo de energia elétrica *per capita* mais baixos estão conseguindo acompanhar, ou vão acompanhar no futuro, os municípios com consumo de energia mais alto.

## 2 METODOLOGIA

Para a análise de convergência do consumo de energia elétrica, os dados foram organizados em painel com informações dos municípios no período de 2002 a 2016. Foram estimados os modelos de convergência estática e convergência dinâmica, podendo ser verificados na forma condicional ou absoluta.

Na convergência chamada de estática, a taxa de crescimento do consumo de energia elétrica se deu considerando o período como um todo, de 2002 para 2016, e a variável para captar a convergência foi o consumo de energia elétrica *per capita* no ano-base de 2002. Já a convergência dinâmica considerou a taxa de crescimento de um período para o outro, sendo que a variável para detectar a convergência foi o consumo de energia elétrica *per capita* do período anterior.

Primeiramente, para verificar a convergência condicional estática do consumo de energia elétrica foi utilizada a equação 1 (BARRO; SALA-i-MARTIN, 1991; SALA-i-MARTIN, 1995; GALOR, 1996):

$$\ln \left( \frac{e_{i,t1}}{e_{i,t0}} \right) = \beta_1 \ln (e_{i,t0}) + X_{i,t} \eta + \xi + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

Nesta,  $e(i,t1)$  indica o consumo *per capita* de energia elétrica no município  $i$  no ano final (2016);  $e(i,t0)$  indica o consumo de energia elétrica *per capita* no município  $i$  no período inicial (2002);  $X$  é o vetor de linhas que é composto de variáveis de controle como o número de unidades consumidoras por  $\text{km}^2$ , o PIB *per capita*, a densidade demográfica, o número de empregos formais *per capita*, a participação da indústria no PIB, entre outras;  $\eta$  é o vetor coluna que é composto dos coeficientes das variáveis de controle;  $\xi$  é o efeito fixo individual ou temporal para o painel; e  $\varepsilon$  é o termo de erro aleatório. Se  $\beta_1$  é estatisticamente significativo e negativo, a convergência do consumo de energia elétrica *per capita* é confirmada.

Rey e Montouri (1999) relatam que a partir do coeficiente que indica a existência de convergência é possível descobrir a velocidade dessa convergência.

A velocidade de convergência, quando verificada a convergência estática, pode ser obtida pela equação 2:

$$\theta = \frac{-\ln(\beta + 1)}{T} \quad (2)$$

Nesta,  $\theta$  representa a velocidade de convergência,  $\beta$  é o parâmetro estimado e  $T$  é o intervalo de tempo total utilizado.

Sala-i-Martin (2000) também inclui outro conceito, chamado de meia vida, definido como o tempo necessário para que economias com menor nível de renda *per capita* reduzam pela metade a diferença em relação aos países com renda maior. Assim, o tempo necessário para que economias com menor nível de consumo de energia *per capita* reduzam pela metade a diferença em relação aos municípios com maior consumo foi calculado pela equação 3. Nesta,  $\theta$  indica a velocidade de convergência.

$$MV_i = \frac{\ln 2}{\theta} \quad (3)$$

Já para verificar a convergência condicional dinâmica do consumo de energia elétrica foi utilizada a equação 4, baseada em Hao e Peng (2017) e Huang et al. (2019):

$$\ln\left(\frac{e_{i,t}}{e_{i,t-1}}\right) = \beta_1 \ln(e_{i,t-1}) + X_{i,t}\eta + \xi + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

Nesta,  $e(i,t)$  representa o consumo *per capita* de energia elétrica no município  $i$  no ano corrente  $t$ ;  $e_{i,t-1}$  representa o consumo *per capita* de energia elétrica no município  $i$  no ano anterior  $t-1$ ; a variável dependente  $\ln\left(\frac{e_{i,t}}{e_{i,t-1}}\right)$  é a taxa de crescimento do consumo de energia por habitante do ano  $t-1$  para o ano  $t$ ;  $X$  é o vetor composto de variáveis de controle e  $\eta$  é o vetor composto dos coeficientes das variáveis do controle;  $\xi$  é o efeito fixo individual ou temporal e  $\varepsilon$  é o termo de erro aleatório.

Essa equação pode ser reescrita de outra forma em seu lado esquerdo, tal como:  $\ln(e_{i,t}) - \ln(e_{i,t-1})$ . Assim, se somar em ambos os lados o termo  $\ln(e_{i,t-1})$ , a equação fica:

$$\ln(e_{i,t}) = \tau \ln(e_{i,t-1}) + X_{i,t}\eta + \xi + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

em que  $\tau = \beta_1 + 1$ .

Se  $\tau$  é estatisticamente significativo e menor que 1, mas positivo (sendo  $\beta_1 < 0$ ), a convergência do consumo de energia elétrica *per capita* será confirmada.

A velocidade de convergência no caso dinâmico pode ser obtida de acordo com a equação 6:

$$\theta = -\ln(\tau) \quad (6)$$

Nesta,  $\tau$  é o parâmetro estimado. A meia vida também foi obtida conforme a equação 3.

Para todas as especificações, tanto estática quanto dinâmica, a convergência absoluta foi testada eliminando o vetor das variáveis de controle.

As estimações foram feitas com dados em painel e painel dinâmico. A modelagem de dados em painel permite quatro especificações diferentes. A primeira é chamada de *Pooled*, ou dados empilhados, em que todas as observações do painel são empilhadas e estimadas por meio de MQO, não levando em conta a natureza dos dados de painel. A segunda consiste em estimar um modelo de Mínimos Quadrados inserindo variáveis *dummy* (MQVD) para captar os efeitos fixos, sendo que cada unidade individual possui um intercepto próprio. A terceira se refere a um modelo de efeitos fixo dentro de um grupo, em que é levada em conta cada variável como um desvio de seu valor médio. E, por fim, um modelo de efeitos aleatórios, possibilitando que cada unidade individual tenha um intercepto, pressupondo que esses sejam uma realização aleatória da população (GREENE, 2012).

A escolha do melhor modelo a ser especificado envolve alguns testes. O primeiro analisa a escolha entre o modelo *Pooled* e o modelo de efeito fixo por meio do uso da estatística F. O modelo empilhado é o modelo restrito, pois considera um parâmetro único para todos os indivíduos, e o modelo de efeito fixo é o modelo irrestrito. A hipótese nula é de que todos os interceptos diferenciais são iguais a 0, indicando um modelo *Pooled*. A rejeição da hipótese nula implica a escolha do modelo de efeito fixo (GREENE, 2012).

O segundo teste envolve a escolha entre o modelo *Pooled* e o modelo de efeito aleatório. É um teste do tipo Multiplicador de Lagrange, desenvolvido por Breuch e Pagan (1980), baseado nos resíduos de MQO. A hipótese nula é , ou seja, o melhor seria um modelo empilhado, dado que a variância do erro é 0 e não há nenhuma diferença significativa entre as unidades, sem efeito de painel. A rejeição da hipótese nula implica que o melhor modelo é o de efeito aleatório (GREENE, 2012).

Por fim, o teste de Hausman envolve a escolha entre o modelo de efeito fixo e o de efeito aleatório. A hipótese nula do teste é que os estimadores do modelo de efeito fixo e do modelo de efeito aleatório não diferem substancialmente, sendo o melhor modelo o de efeito aleatório. A rejeição da hipótese nula implica a escolha do modelo de efeito fixo (GREENE, 2012).

Além dos testes para escolha da melhor especificação dos modelos de dados em painel, outros testes foram realizados. Um teste é feito para verificar a existência de efeitos não observados, individuais e temporais. Esse teste foi desenvolvido por Wooldridge (2002) e verifica a hipótese nula de correlação nula entre erros do mesmo grupo, ou seja, a inexistência de efeitos não observados. É válido sob heterocedasticidade e não necessita da normalidade dos resíduos. Outro teste é a

verificação da existência de efeitos individuais e temporais nos dados, para definir a inclusão desses num modelo de efeito fixo. Esse teste é feito por meio da estatística LM de Breusch-Pagan (1980) e do teste F desenvolvido por Moulton e Randolph (1989), sob hipótese nula de não haver efeito individual ou temporal no modelo (BALTAGI, 2005).

Na especificação de dados em painel também foram testados os pressupostos de homocedasticidade e autocorrelação dos resíduos, sendo corrigido caso ocorram alguns problemas, de acordo com as sugestões de Greene (2012).

Segundo Baltagi (2005), um modelo de dados em painel tradicional, estático, sem efeito espaço e efeito dinâmico, pode ser estimado pelos métodos LSDV- Estimador de Variáveis Dummy de Mínimos Quadrados e por GLS- Mínimos Quadrados Generalizados. No entanto, estes estimadores se tornam inconsistentes quando se considera uma versão entendida deste modelo chamado de painel dinâmico, com variável de tempo defasada. Para corrigir essas inconsistências existem alguns métodos, como o estimador GMM. Este método define e resolve um conjunto de condições de momento que precisam ser satisfeitas, obtém um conjunto de variáveis exógenas correlacionadas com a variável dependente defasada, mas ortogonais aos erros, que, como resultados, podem ser usados para instrumentalizar as variáveis endógenas.

Outro procedimento é a MV, baseada na função de verossimilhança incondicional do modelo. Autores como Sargan e Bhargava (1983) desenvolveram especificações deste método. Estes autores consideram o estimador MV assintoticamente mais eficientes que o estimador GMM quando  $n$  tende ao infinito, independentemente do tamanho de  $t$ .

O método mais comumente usado é o estimador MV, mas o principal argumento a favor do estimador GMM é que este também pode ser usado para instrumentalizar variáveis explicativas endógenas (ELHORST, 2014). A estimação de painel de dados dinâmicos por GMM está associada a Arellano e Bond (1991), Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998).

O estimador de Arellano-Bond (1991), chamado de "Difference GMM", transforma a equação-base extraindo as diferenças e, posteriormente, estimando pelo GMM usando a variável dependente defasada em três ou mais períodos como instrumento. Já o estimador delineado por Arellano e Bover (1995) e desenvolvido por Blundell e Bond (1998), chamado de "System GMM", usa as diferenças da variável dependente atrasada como instrumentos para equações em níveis, além de níveis atrasados da variável dependente como instrumentos para equações nas primeiras diferenças (BLUNDELL, BOND, 1998). O System GMM é considerado um estimador melhor do que o Difference GMM porque apresenta as seguintes propriedades: maior eficiência; menor viés de amostra finita; e os instrumentos utilizados para a equação

em nível no modelo permanecem bons preditores para as variáveis endógenas, mesmo quando as séries são muito persistentes (BLUNDELL, BOND, 1998).

As estimações via GMM estão condicionadas, no entanto, a uma boa adequação dos instrumentos utilizados para as variáveis endógenas. Testes foram realizados para verificar a validade dos instrumentos utilizados, pois estes devem ser exógenos para uma estimação consistente. Os mais comuns são os testes de Sargan e de Hansen, que testam a hipótese nula de exogeneidade e boa adequação dos instrumentos (HANSEN 1982, SARGAN, 1988).

Portanto, a análise da convergência absoluta e condicional, nas formas estática e dinâmica, foi estimada com um painel tradicional e com painel dinâmico, respectivamente. As estimações, quando possíveis, foram feitas via MV e GMM.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Primeiramente é importante destacar que o Paraná possui 399 municípios, 39 microrregiões e 10 mesorregiões, está localizado na Região Sul do Brasil, com 11,3 milhões de habitantes no ano de 2018 e área de 199.308 km<sup>2</sup> (IPARDES, 2019). Por sua vez, a tabela 1 apresenta a estatística descritiva das variáveis, contendo média, desvio-padrão e valores mínimos e máximos.

TABELA 1 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS

VARIÁVEIS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
Consumo total de energia elétrica <i>per capita</i>	1,81	1,96	0,16	21,96
Unidades consumidoras totais	9.572	38.749,02	307,00	800.927,00
Unidades consumidoras totais/km <sup>2</sup>	22,96	92,83	0,75	1839,12
Densidade demográfica	62,76	245,29	2,90	4.349,07
PIB <i>per capita</i>	15.692,93	12.340,92	2423,22	22.0812,90
Abertura comercial (%)	3,38	13,15	0,00	524,15
Participação da indústria no PIB (%)	13,91	13,16	-9,80	96,69
Empregos formais	6.477	42.087,80	44,00	967.397,00
Empregos formais <i>per capita</i>	0,15	0,08	0,016	0,80
Estabelecimentos ativos	651	3.021,59	7,00	62.150,00
Estabelecimentos ativos/km <sup>2</sup>	1,44	6,93	0,017	142,71

FONTE: Os autores (2022)

NOTA: Todas as variáveis apresentaram 5.985 observações.

O painel de dados é balanceado, contendo informações de todas as variáveis para os 399 municípios paranaenses ao longo de 15 anos. O consumo médio de energia elétrica *per capita* era de 1,81 MWh, sendo o consumo máximo de 21,96 MWh e o mínimo de 0,16 MWh.

### 3.2 CONVERGÊNCIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta parte dos resultados são apresentados os modelos de convergência utilizando o consumo de energia elétrica. Os modelos testados são convergência estática e dinâmica, nas formas absoluta e condicional. As estimações são realizadas para o conjunto de dados em painel dos municípios paranaenses de 2002 a 2016.

Primeiramente foi escolhida a melhor especificação para os dados em painel, depois verificada a existência de efeitos fixos de indivíduo e tempo, posteriormente analisados os pressupostos de normalidade, heterocedasticidade e multicolinearidade no painel, e, por fim, foram feitas as estimações da convergência. A tabela 2 apresenta as estimações de dados em painel para os modelos Pooled, efeito fixo e efeito aleatório para a amostra dos municípios paranaenses de 2002 a 2016.

TABELA 2 - RESULTADO DA ESTIMAÇÃO DO MODELO COM DADOS EM PAINEL PARA OS MUNICÍPIOS PARANAENSES - 2002-2016

VARIÁVEIS	POOLED		EFEITO FIXO		EFEITO ALEATÓRIO	
	Coefficiente	p-value	Coefficiente	p-value	Coefficiente	Coefficiente
Constante	-0,6407	0,000	-0,0127	0,898	0,0304	0,750
Ln unidades consumidoras/km <sup>2</sup>	0,3105	0,000	0,6642	0,000	0,6328	0,000
Ln PIB <i>per capita</i>	0,2574	0,000	0,1624	0,000	0,1693	0,000
Ln densidade demográfica	-0,4228	0,000	-0,6859	0,000	-0,6933	0,000
Ln empregos <i>per capita</i>	0,3799	0,000	0,2067	0,000	0,2126	0,000
Ln estabelecimentos ativos/km <sup>2</sup>	0,1348	0,000	0,1285	0,000	0,1305	0,000
Abertura comercial	0,0017	0,000	0,0003	0,065	0,0003	0,047
Participação indústria PIB	0,0078	0,000	0,0078	0,000	0,0079	0,000
Número de Observações		5985		5985		5985
Adj. R-squared		0,5970		0,7998		0,8040
Teste F		F: 148,71		p-value		0,000
Teste LM B-P		Chisq: 33042,00		p-value		0,000
Teste Hausman		Chisq: 57,58		p-value		0,000

FONTE: Elaborado pelos autores com base no *Software R*

Para a escolha do modelo mais adequado foram realizados o teste F, que testa entre o modelo *Pooled* e o modelo de efeito fixo; o teste LM de Breusch-Pagan, que testa entre *Pooled* e aleatório; e o teste de Hausman, que testa entre o modelo de efeito fixo e o modelo de efeito aleatório. A hipótese nula do teste F é igualdade nos interceptos e nas inclinações para todos os indivíduos, caracterizando o modelo de dados agrupados. Esta hipótese foi rejeitada com significância estatística, indicando que o modelo de efeito fixo foi mais adequado que o *Pooled*. Para o teste LM, a hipótese nula é que as variações entre as unidades são zero. Esta hipótese também foi rejeitada, indicando que o modelo de efeito aleatório foi o melhor. No teste de Hausman, a hipótese nula é que os estimadores do modelo de efeito fixo e do modelo

de efeito aleatório não diferem substancialmente, sendo o melhor modelo o de efeito aleatório. Já que a hipótese nula foi rejeitada, o modelo de efeito fixo mostrou-se mais adequado.

Testou-se também a existência de efeitos individuais e de tempo não observados por meio dos testes de Wooldridge (2002), conforme apresentados na tabela 3.

TABELA 3 - TESTE PARA EXISTÊNCIA DE EFEITOS NÃO OBSERVADOS NO MODELO COM DADOS EM PAINEL

TESTE EFEITOS INDIVIDUAIS		TESTE EFEITOS TEMPORAIS	
z	p-value	Chisq	p-value
5,2876	0,0000	1,8953	0,0580

FONTE: Elaborada pelos autores com base no Software R

A hipótese nula é a não correlação entre erros do mesmo grupo, ou seja, inexistência dos fatores não observáveis. Sendo assim, rejeitou-se a hipótese nula para os fatores individuais não-observáveis, e não se rejeitou para os efeitos temporais não observáveis, ambos a significância de 95%, indicando haver no modelo efeitos individuais não observáveis. Esses resultados confirmaram que o modelo agrupado não deve ser utilizado.

Após verificar que o modelo de efeito fixo foi mais apropriado, aplicaram-se os testes de Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan e o teste F para efeitos individuais e temporais com base nos resultados do modelo de *Pooled*. A tabela 4 mostra os resultados. Todos os testes apontaram para a existência de efeitos individuais e temporais no modelo de efeitos fixos.

TABELA 4 - TESTE PARA EXISTÊNCIA DE EFEITOS INDIVIDUAIS E TEMPORAIS NO MODELO DE DADOS EM PAINEL

TESTES	TESTE EFEITOS INDIVIDUAIS		TESTE EFEITOS TEMPORAIS		TESTE EFEITOS TEMPORAIS E INDIVIDUAIS	
	Chisq/F	p-value	Chisq/F	p-value	Chisq/F	p-value
LM	33042,00	0,0000	49,59	0,00009	33092,00	0,0000
BP	148,71	0,0000	10,65	0,0000	147,08	0,0000

FONTE: Elaborado pelos autores com base no Software R

Testou-se também a autocorrelação dos resíduos e a heterocedasticidade, apresentados na tabela 5.

TABELA 5 - TESTES PARA AUTOCORRELAÇÃO SERIAL E HETEROCEDASTICIDADE NOS DADOS EM PAINEL

BREUSCH-GODFREY/WOOLDRIDGE		BREUSCH-PAGAN	
Chisq	p-value	BP	p-value
2564,20	0,0000	9627,04	0,0000

FONTE: Elaborado pelos autores com base no Software R

Para testar a correlação serial utilizou-se o teste de Breusch-Godfrey/Wooldridge (WOOLDRIDGE, 2002), em que a hipótese nula é ausência de autocorrelação serial. Como se rejeitou a hipótese nula, o modelo apresentou correlação serial nos resíduos. Por fim, o teste de Breusch-Pagan foi utilizado para testar a heterocedasticidade.

Rejeitou-se a hipótese nula de homocedasticidade revelando problema no modelo. A normalidade dos resíduos do modelo de efeito fixo foi verificada por meio de um gráfico de quantil, que, embora não apresentado, indicou que os resíduos não seguem uma distribuição normal. Para corrigir os problemas do modelo, foi rodada a regressão de dados em painel de efeito fixo considerando os efeitos individuais e temporais, com matriz robusta de covariância consistente sugerida por Arellano (1987), indicada quando existe heterocedasticidade e correlação serial nos resíduos.

Depois da escolha da melhor especificação de dados em painel e testes de adequação, foram estimados os modelos de convergência. Como já apresentado na metodologia, a convergência absoluta é testada se nenhuma variável de controle é incluída nas equações de regressão. Já a convergência condicional é verificada quando outras variáveis de controle são adicionadas. A forma estática considera o período como um todo para captar a convergência, e a forma dinâmica leva em conta o período atual e o anterior.

A tabela 6 apresenta os modelos de convergência  $\beta$  absoluta e condicional na forma estática. A variável dependente é o ln da divisão entre o consumo de energia no ano 2016 pelo consumo de energia no ano-base 2002, ou seja, a taxa de crescimento do consumo de energia elétrica *per capita* ao longo do período (2002-2016). A variável para detectar a convergência é o ln do consumo de energia elétrica *per capita* no ano-base de 2002. Mais à frente são apresentados os testes para detectar a autocorrelação serial e heterocedasticidade.

Ambos os testes confirmaram problemas de autocorrelação serial e heterocedasticidades no modelo, por isso foi usada a correção de Arellano (1987), que gera matriz robusta de covariância. Os modelos corrigidos estão na tabela 7, juntamente com a velocidade de convergência e índice de meia vida.

TABELA 6 - MODELOS DE CONVERGÊNCIA ESTÁTICA NA FORMA ABSOLUTA E CONDICIONAL

VARIÁVEIS	ABSOLUTA			CONDICIONAL		
	Coefficiente	Desvio-padrão	p-value	Coefficiente	Desvio-padrão	p-value
Ln consumo energia <i>per capita</i> 2002	-0,3170	0,0070	0,0000	-0,3793	0,0098	0,0000
Ln unidades consumidoras/km <sup>2</sup>				-0,0013	0,0278	0,9604
Ln PIB <i>per capita</i>				-9,0534	1,9851	0,0000
(Ln PIB <i>per capita</i> ) <sup>2</sup>				0,9132	0,2040	0,0000
(Ln PIB <i>per capita</i> ) <sup>3</sup>				-0,0298	0,0069	0,0000
Ln densidade demográfica				-0,0478	0,0265	0,0712
Ln empregos <i>per capita</i>				0,1468	0,1476	0,0000
Ln estabelecimentos/km <sup>2</sup>				-0,0232	0,0017	0,1759
Abertura comercial				-0,0000	0,0000	0,9491
Participação indústria PIB				-0,0024	0,0004	0,0000
Número de Observações			5985			5985
Adj. R-squared			0,2551			0,3249
Autocorrelação	Chisq: 5232,40		p-value: 0,0000	Chisq: 5191,80		p-value: 0,0000
Heterocedasticidade	BP: 12,48		p-value: 0,0019	BP: 1776,90		p-value: 0,0000

FONTE: Elaborado pelos autores com base no *Software R*

NOTA: Painel de efeito fixo. Controle de efeitos fixo apenas para tempo para evitar multicolinearidade e omissão de variáveis.

TABELA 7 - MODELOS DE CONVERGÊNCIA ESTÁTICA NA FORMA ABSOLUTA E CONDICIONAL CORRIGIDOS

VARIÁVEIS	ABSOLUTA			CONDICIONAL		
	Coefficiente	Desvio-padrão	p-value	Coefficiente	Desvio-padrão	p-value
Ln consumo energia <i>per capita</i> 2002	-0,3170	0,0070	0,0000	-0,3793	0,0479	0,0000
Ln unidades consumidoras/km <sup>2</sup>				-0,0013	0,0827	0,9866
Ln PIB <i>per capita</i>				-9,0534	3,4810	0,0000
(Ln PIB <i>per capita</i> ) <sup>2</sup>				0,9132	0,3591	0,0112
(Ln PIB <i>per capita</i> ) <sup>3</sup>				-0,0298	0,0012	0,0153
Ln densidade demográfica				-0,0478	0,0787	0,5437
Ln empregos <i>per capita</i>				0,1468	0,0615	0,0170
Ln estabelecimentos/km <sup>2</sup>				-0,0232	0,0777	0,7651
Abertura comercial				-0,0000	0,0000	0,9749
Participação indústria PIB				-0,0024	0,0006	0,1485
Velocidades de Convergência		0,02542			0,03179	
Meia Vida		27,26			21,80	

FONTE: Elaborado pelos autores com base no *Software R*.

NOTA: Controle de efeitos fixos apenas para tempo para evitar multicolinearidade e omissão de variáveis.

Comparando as duas estimações, absoluta e condicional, o coeficiente de ajustamento foi maior quando inseridas variáveis de controle adicionais. Este fato sugere a superioridade da hipótese de convergência condicional sobre a hipótese de convergência absoluta.

Como os coeficientes da variável Ln do consumo de energia elétrica *per capita* no período inicial mostraram-se negativos e estatisticamente significativos nas duas especificações, conclui-se que existe convergência estática, absoluta e condicional, no consumo de energia elétrica *per capita* dos municípios paranaenses. A velocidade de convergência absoluta foi de 2,54% ao ano, e a da convergência condicional foi de 3,18% ao ano. Já o índice de meia vida – que indica o tempo necessário para que municípios com menor nível de consumo de energia *per capita* reduzam pela metade a diferença em relação aos municípios com consumo de energia *per capita* maior – foi de aproximadamente 27 anos para a convergência absoluta e 22 anos para a convergência condicional.

A tabela 8, por seu turno, mostra as estimações para a convergência dinâmica do consumo de energia elétrica *per capita* dos municípios paranaenses.

As estimações foram feitas utilizando *System GMM*. A variável dependente é o Ln do consumo de energia elétrica *per capita* do ano corrente  $t$ ; já a variável para captar a convergência é o Ln do consumo de energia elétrica *per capita* no ano  $t-1$ .

Os testes AR indicaram correlação serial de primeira ordem, mas não houve correlação serial de ordem 2 no modelo. No teste de Hansen, se os instrumentos são válidos, a hipótese nula de adequação dos instrumentos não deve ser rejeitada. Este teste indicou que as restrições de superidentificação implícitas por este procedimento não foram rejeitadas e que os instrumentos são válidos.

TABELA 8 - MODELOS DE CONVERGÊNCIA DINÂMICA NA FORMA ABSOLUTA E CONDICIONAL

VARIÁVEIS	ABSOLUTA			CONDICIONAL		
	Coefficiente	Desvio-padrão	p-value	Coefficiente	Desvio-padrão	p-value
Constante	0,0530	0,0014	0,0000	7,3594	8,3801	0,3800
Ln consumo energia <i>per capita</i> t-1 ( $\tau$ )	0,9726	0,0029	0,0000	0,9545	0,0092	0,0000
Ln unidades consumidoras/km <sup>2</sup>				0,0858	0,0396	0,0300
Ln PIB <i>per capita</i>				-2,1679	2,6022	0,4050
(Ln PIB <i>per capita</i> ) <sup>2</sup>				0,2248	0,2694	0,4040
(Ln PIB <i>per capita</i> ) <sup>3</sup>				-0,0078	0,0093	0,3980
Ln densidade demográfica				-0,1243	0,0416	0,0030
Ln empregos <i>per capita</i>				0,0509	0,0161	0,0020
Ln estabelecimentos/km <sup>2</sup>				-0,0187	0,0261	0,4750
Abertura comercial				0,0003	0,0002	0,2160
Participação indústria PIB				0,0025	0,0008	0,0030
Velocidades de Convergência	0,02777			0,04657		
Meia Vida	24,96			14,88		
Arellado-Bond AR(1)	z: -7,93		p-value: 0,0000	z: -8,09		p-value: 0,0000
Arellado-Bond AR(2)	z: -0,51		p-value: 0,612	z: -0,49		p-value: 0,623
Hansen	Chisq: 398,81		p-value: 0,9990	Chisq: 397,34		p-value: 0,9970

FONTE: Elaborado pelos autores com base no *Software Stata*

NOTA: Estimado por System GMM. Instrumentos para as primeiras diferenças: D. (Ln consumo total de energia *per capita*, Ln PIB *per capita*, Ln empregos *per capita*, abertura comercial), L(1/.):(L. Ln consumo total de energia *per capita*, Ln PIB *per capita*, Ln empregos *per capita*, abertura comercial). Instrumentos para as equações em nível: Ln consumo total de energia *per capita*, Ln PIB *per capita*, Ln empregos *per capita*, abertura comercial, D.(L. Ln consumo total de energia *per capita*, Ln PIB *per capita*, Ln empregos *per capita*, abertura comercial).

O coeficiente  $\tau$  (t-1) foi positivo, menor que 1 e estatisticamente significativo, indicando haver convergência dinâmica no modelo, já que  $\tau = \beta_1 + 1$ , e  $\beta_1$  se torna negativo. A velocidade de convergência no modelo dinâmico absoluto foi de aproximadamente 2,78% ao ano e no modelo dinâmico condicional foi de 4,66% ao ano. O tempo necessário para que os municípios com menor nível de consumo de energia *per capita* reduzam pela metade a diferença entre os municípios com maior nível de consumo foi de aproximadamente 25 anos no modelo absoluto e 15 anos no modelo condicional.

Nesse modelo dinâmico foi possível perceber também que o consumo de energia elétrica dos municípios no período anterior influencia o consumo do ano seguinte. Além disso, número de unidades consumidoras por km<sup>2</sup>, densidade demográfica, empregos *per capita* e participação da indústria sobre o PIB influenciaram o consumo de energia nesse período, sendo importantes determinantes.

A convergência condicional mostrou-se relativamente mais forte que a convergência absoluta, nas duas formas de especificação, estática e dinâmica. No entanto, a velocidade de convergência estimada foi relativamente pequena, gerando tempo de meia vida bastante alto. Porém, para a realidade da maioria dos municípios paranaenses essa velocidade é aceitável e não tão baixa, dadas

as características regionais. As duas formas de especificação, estática e dinâmica, não apresentaram diferenças substanciais, o que parece razoável perante a literatura.

Como são escassos trabalhos como este na literatura brasileira, é difícil haver base para comparações. No entanto, o trabalho de Saidi e Hammami (2015) identificou os determinantes do consumo de energia elétrica para um grupo de 58 países, de 1990 a 2012, utilizando a abordagem de painel dinâmico espacial. Eles também encontraram efeitos significativos do consumo de energia do período anterior para o consumo do ano corrente.

Markandya, Pedroso-Galinato e Streimikiene (2006) encontraram evidências de convergência da intensidade energética (quantidade de energia necessária para gerar uma unidade de produção econômica) em 12 países do Leste Europeu e 15 países da União Europeia no período de 1992 a 2002. A taxa pela qual os países convergiam foi estimada em cerca de 1,7% ao ano. Embora a intensidade de energia estivesse diminuindo em quase todos esses países, o consumo total final de energia ainda precisava subir. Assim, um limite para o consumo como um indicador de sustentabilidade era ainda inadequado nesses países.

Mohammadi e Ram (2012) testaram a convergência no consumo *per capita* de energia e uso eletricidade em uma amostra de países no período de 1971 a 2007. Encontraram fraca convergência no consumo de energia *per capita*, mas forte convergência no uso da eletricidade na maioria dos casos. A fraca tendência à convergência também se refletia em velocidades de convergência muito baixas. A convergência foi mais acentuada no formato  $\beta$  condicional do que nos modelos absolutos, tal como encontrado por este trabalho. Também afirmaram que a fraca convergência no consumo de energia pode não ser preocupante do ponto de vista da sustentabilidade.

Já Mohammadi e Ram (2017) testaram a convergência absoluta e condicional no consumo de energia *per capita* nos estados dos EUA no período 1970-2013. Não encontraram convergência no consumo entre os estados americanos. Embora as estimativas tenham apresentado um sinal negativo, elas não foram estatisticamente significativas, indicação de não haver convergência.

Por fim, Hao e Peng (2017) investigaram a convergência do consumo de energia usando dados de painel para o período 1994-2014 para 30 províncias chinesas. Encontraram tanto convergência absoluta como condicional no consumo de energia *per capita* em todas as províncias chinesas. A velocidade da convergência absoluta foi de aproximadamente 6%, e, da condicional, 7%. A velocidade da convergência condicional também foi relativamente mais alta do que a absoluta.

De acordo com Bloch, Rafiq e Salim (2012), quando a convergência pode ser verificada torna-se mais fácil os governantes formularem políticas para conter o consumo total de energia a fim de alcançar a melhoria da qualidade ambiental. Assim, políticas específicas e direcionadas podem contribuir para o controle do uso

de energia. Por exemplo, para municípios com alto consumo, regras mais rigorosas podem ser elaboradas, visando a um desenvolvimento sustentável. Já para municípios com baixo consumo relativo de energia, a convergência implica que o potencial de redução da demanda de energia é limitado.

Mishra e Smyth (2014) afirmam que evidências de rápida convergência energética e taxas de crescimento relativamente pequenas indicam que as metas para conter o crescimento no consumo de energia são viáveis e desejáveis como parte de uma estratégia de sustentabilidade. Por outro lado, Markandya, Pedroso-Galinato e Streimikiene (2006) afirmam que se a convergência for lenta e as taxas de crescimento mais rápidas, não será possível definir esse tipo de meta, pois o consumo de energia ainda precisa subir. Este parece ser o caso do Estado do Paraná. Embora se verifique convergência, absoluta e condicional, a velocidade de convergência foi relativamente baixa, indicando que o consumo de energia ainda precisa ser aumentado para garantir o crescimento econômico. No entanto, o fato de existir convergência é um indicativo de que no futuro poderão ser elaboradas políticas para controle de energia, principalmente se as taxas de convergência se elevarem entre os municípios.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A convergência é uma teoria econômica que foi originalmente aplicada para investigar a convergência da renda *per capita* em diferentes regiões e países. Neste trabalho, essa hipótese foi adaptada e testada utilizando o consumo de energia elétrica *per capita* para os municípios paranaenses de 2002 a 2016.

A convergência do consumo *per capita* de energia elétrica busca verificar se municípios com menor nível de consumo *per capita* de energia alcançam taxas de crescimento mais rápidas do consumo *per capita* do que municípios com maior nível de consumo (ABRAMOVITZ, 1986). Sendo assim, há uma tendência de que os municípios com menor consumo de energia possam experimentar um crescimento mais rápido no consumo de energia *per capita* em comparação com os municípios que têm maior consumo de energia.

Foram usadas duas formas diferentes de análise da convergência. A primeira foi considerada uma convergência estática, pois a taxa de crescimento do consumo de energia foi calculada para o período como um todo e buscou verificar a relação com o consumo de energia para o ano-base. Já a segunda forma foi considerada como dinâmica, uma vez que o consumo de energia do período corrente foi relacionado com o consumo de energia do ano anterior. Além disso, foram testados dois tipos de convergência, a absoluta e a condicional. Na convergência absoluta todas as regiões eventualmente convergem para o mesmo estado estacionário, o que pode ser testado se nenhuma variável de controle for incluída nas equações de regressão. A convergência condicional, por sua vez, é verificada quando outras variáveis de controle são adicionadas.

Os dados confirmaram a existência de convergência, estática e dinâmica, absoluta e condicional, no consumo de energia elétrica dos municípios paranaenses. O mecanismo de mercado e a livre mobilidade dos fatores produzem um efeito corretivo sobre as diferenças no consumo e levam o consumo de energia a tender ao equilíbrio. O consumo dos municípios menores e menos significativos tende a crescer a taxas mais rápidas do que o dos municípios maiores e mais importantes.

A convergência condicional mostrou-se relativamente mais forte que a convergência absoluta nas duas formas de especificação, estática e dinâmica. De forma geral, a velocidade de convergência estimada foi baixa, gerando tempo de meia vida relativamente alto, sugerindo que o consumo de energia ainda precisa ser aumentado para garantir o crescimento econômico. Contudo, dada a realidade da maioria dos municípios paranaenses, com baixa população e baixo nível de crescimento econômico, a velocidade de convergência poderia ser ainda menor do que a apontada.

Metas e projetos para conter o crescimento no consumo de energia elétrica dos municípios paranaenses podem também não ser viáveis e eficientes pelo fato de esses municípios ainda precisarem aumentar o consumo de energia para gerar crescimento econômico. Porém, o fato de existir convergência é um indicativo de que no futuro poderão ser elaboradas políticas para controle de energia.

Este trabalho contribuiu para a literatura brasileira pelo fato de a hipótese da convergência ainda não ter sido estudada para o Brasil utilizando-se o consumo de energia elétrica, nem mesmo para o Estado do Paraná.

Dentre as possibilidades de novas pesquisas sobre o tema sugere-se a inserção dos efeitos espaciais nas estimações da convergência do consumo de energia elétrica. Neste ponto vale citar Hao e Peng (2017), para os quais a falta de efeitos espaciais pode levar a estimativas tendenciosas dos parâmetros do modelo.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVITZ, M. Catching up, forging ahead, and falling behind. **The Journal of Economic History**, v.46, n.2, p.385-406, 1986.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG- Banco de Informações de Geração**. 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 17 mar. 2020.

ARELLANO, M. Computing Robust Standard Errors for Within-groups Estimators. **Oxford bulletin of Economics and Statistics**, n.49, v.4, p.431-434, 1987.

ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **The Review of Economic Studies**, v.58, p.277-97, 1991.

- ARELLANO, M.; BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. **Journal of econometrics**, v.68, n.1, p.29-51, 1995.
- BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2005.
- BARRO, R.; SALA-i-MARTIN, X. Convergence across states and regions. **Brookings papers on economic activity**, p.107-182, 1991.
- BLOCH, H.; RAFIQ, S.; SALIM, R. Coal consumption, CO2 emission and economic growth in China: Empirical evidence and policy responses. **Energy Economics**, v.34, n.2, p.518-528, 2012.
- BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of econometrics**, v.87, n.1, p.115-143, 1998.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. **Review of Economic Studies**, v.47, n.1, p.239-253, 1980.
- ELHORST, J. P. **Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels**. Heidelberg: Springer, 2014.
- GALOR, O. Convergence? Inferences from theoretical models. **The Economic Journal**, v.106, n.437, p.1056-1069, 1996.
- GREENE, W.H. **Econometric Analysis**. 7.ed. New York: Pearson, 2012.
- HANSEN, L. P. Grandes propriedades da amostra do método generalizado de estimadores de momentos. **Econometria: Jornal da Sociedade Econômetrica**, p.1029-1054, 1982.
- HAO, Y.; PENG, H. On the convergence in China's provincial *per capita* energy consumption: New evidence from a spatial econometric analysis. **Energy Economics**, v.68, p.31-43, 2017.
- HUANG, J. *et al.* The convergence characteristics of China's carbon intensity: Evidence from a dynamic spatial panel approach. **Science of The Total Environment**, v.668, p.685-695, 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/indianopolis/panorama>. Acesso em: 13 maio 2020.
- IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Perfil dos Municípios**. Curitiba: IPARDES, 2019.
- JOBERT, T.; KARANFIL, F.; TYKHONENKO, A. Convergence of *per capita* carbon dioxide emissions in the EU: legend or reality? **Energy Economics**, v.32, n.6, p.1364-1373, 2010.
- MARKANDYA, A.; PEDROSO-GALINATO, S.; STREIMIKIENE, D. Energy intensity in transition economies: is there convergence towards the EU average?. **Energy Economics**, v.28, n.1, p.121-145, 2006.
- MISHRA, V.; SMYTH, R. Convergence in energy consumption *per capita* among ASEAN countries. **Energy policy**, v.73, p.180-185, 2014.

- MOHAMMADI, H.; RAM, R. Convergence in energy consumption *per capita* across the US states, 1970-2013: An exploration through selected parametric and non-parametric methods. **Energy Economics**, v.62, p.404-410, 2017.
- MOHAMMADI, H.; RAM, R. Cross-country convergence in energy and electricity consumption, 1971-2007. **Energy Economics**, v.34, n.6, p.1882-1887, 2012.
- MOULTON, B. R.; RANDOLPH, W. C. Alternative tests of the error components model. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p.685-693, 1989.
- REY, S. J.; Montouri, B. D. US regional income convergence: a spatial econometric perspective. **Regional Studies**, v.33, n.2, p.143-156, 1999.
- SAIDI, K.; HAMMAMI, S. The impact of CO2 emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries. **Energy Reports**, v.1, p.62-70, 2015.
- SALA-I-MARTIN, X. **Apuntes de crecimiento económico**. Espanha: Editora Antoni Brosch, 2000.
- SALA-I-MARTIN, X. The classical approach to convergence analysis. **The Economic Journal**, v.106, n.437, p.1019-1036, 1995.
- SARGAN, J. D.; BHARGAVA, A. Maximum likelihood estimation of regression models with first order moving average errors when the root lies on the unit circle. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p.799-820, 1983.
- SARGAN, J. D.; BHARGAVA, A. Testing for misspecification after estimating using instrumental variables. **Contributions to Econometrics: John Denis Sargan**, v.1, p.213-235, 1988.
- WOOLDRIDGE, J. **Econometric analysis of cross-section and panel data**. London: MIT press, 2002.