

**DISTRIBUIÇÃO E  
DESIGUALDADE ESPACIAIS DO  
CONSUMO RESIDENCIAL DE  
ELETRICIDADE: UMA ANÁLISE  
DO PERÍODO 1989 -2005 COM  
MEDIDAS DE INFORMAÇÃO**

Rogério S. de Mattos  
Ricardo Freguglia  
Lourival B. de Oliveira Jr.  
Alexandre Zanini

***TD. 001/2009***  
***Programa de Pos-Graduação em Economia***  
***Aplicada - FE/UFJF***

Juiz de Fora

2009

## **Distribuição e desigualdade espaciais do consumo residencial de eletricidade: uma análise do período 1989–2005 com medidas de informação**

Rogério Silva de Mattos  
Universidade Federal de Juiz de Fora  
Faculdade de Economia e Administração

Lourival Batista de Oliveria Júnior  
Universidade Federal de Juiz de Fora  
Faculdade de Economia e Administração

Ricardo da Silva Freguglia  
Universidade Federal de Juiz de Fora  
Faculdade de Economia e Administração

Alexandre Zanini  
Universidade Federal de Juiz de Fora  
Faculdade de Economia e Administração

### **Resumo**

Este trabalho analisa o comportamento espacial do consumo residencial de eletricidade (CRE) no Brasil e suas implicações para o suprimento futuro de eletricidade. Para tanto, são propostos dois indicadores baseados na medida de informação de Kullback–Leibler: um que mensura a *distribuição* estadual do CRE total e outro a *desigualdade* estadual do CRE per capita. Diferenças e relações entre ambos esses conceitos são apresentadas e discutidas. A partir de dados do Balanço Energético Nacional e do IBGE, séries temporais anuais desses indicadores foram construídas para 1989–2005. Os resultados apontam que, espacialmente, a distribuição do CRE total está aumentando e que a desigualdade do CRE per capita está diminuindo, sendo que a redução da última se deve mais a fatores inter-regionais do que intra-regionais. Esses movimentos, embora desejáveis para o bem-estar social da população, são preocupantes para a gestão energética de longo prazo. Eles tendem a ampliar o potencial de crescimento do CRE total, agravando assim os desafios de se promover a expansão da geração, transmissão e distribuição de eletricidade demandadas pelo país. Implicações de políticas e estratégias energéticas, bem como diretrizes para futuros estudos, são apontadas ao final.

### **Abstract**

This paper analyses the spatial behavior of the residential consumption of electricity (CRE) in Brazil and the implications for the provision of electrical energy in the future. Two indicators based on the Kullback–Leibler information measure are proposed: one for measuring state *distribution* of total CRE and the other for state *inequality* of per capita CRE. Differences and relations between these two concepts are presented and discussed. Using data available from the Brazilian Energy Balance and from IBGE, annual time series of both indicators were constructed for 1989–2005. The results indicate the spatial distribution of total CRE is increasing while the spatial inequality of CRE per capita is decreasing, with the latter movement resulting more from interregional than intraregional factors. These movements, while desirable from the sake of population welfare, bring worrisome implications for energy management in the long-run. They tend to magnify the growth potential of total CRE and thus weigh down the challenges of expanding the subsystems for generating, transmitting, and distributing the electricity needed by the country. Implications for energy policy and strategy, as well as directions for further studies, are presented in the end.

## 1. Introdução<sup>1</sup>

O consumo residencial de eletricidade (CRE) no Brasil apresentou um crescimento vigoroso ao longo dos últimos 20 anos. Dados do Balanço Energético Nacional (BEN), divulgados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE, 2006), mostram que o consumo residencial total no país cresceu 89,5% entre 1989 e 2005. A maior parte desse crescimento se deve ao comportamento do consumo per capita, uma vez que este cresceu 51,8% contra uma expansão da população de apenas 34,8% nesse período. Dentre vários fatores que podem ser elencados para explicar essa evolução, destacam-se os avanços tecnológicos que vêm diversificando o rol de produtos eletrodomésticos disponíveis para a sociedade e concomitantemente reduzindo os preços desses produtos ao longo do tempo.

Embora essa tendência de crescimento, sobretudo em termos do CRE per capita, seja desejável do ponto de vista do aumento do bem estar social, sua persistência agrava os desafios de garantir o suprimento futuro de energia elétrica, preocupação exacerbada no seio da sociedade após a experiência do racionamento de 2001. Um aspecto pouco investigado dessa questão diz respeito a como está se distribuindo pelo espaço brasileiro este crescimento do CRE. Embora uma maior distribuição espacial em favor de regiões menos desenvolvidas do país seja desejável, as dimensões continentais brasileiras agravam os desafios de expandir o sistema elétrico, tanto em termos da capacidade de geração quanto das redes de transmissão e distribuição. Além disso, argumentos econômicos justificam a hipótese de que quanto mais equitativo o consumo per capita, maiores tendem a ser as taxas de crescimento do consumo total, o que torna o problema ainda maior.

Diante dessa perspectiva, este trabalho analisa o comportamento espacial do CRE brasileiro em relação a dois aspectos: a distribuição do consumo total e a desigualdade do consumo per capita. Para tanto, medidas oriundas de teoria da informação foram usadas para se analisar dados disponibilizados no BEN 2006 relativos à evolução por estado do CRE. Um dos principais resultados obtidos é que, em termos espaciais, o consumo total vem aumentando progressivamente sua distribuição e o consumo per capita vem apresentando uma tendência de maior equalização, o que indica de fato um agravamento dos desafios mencionados acima.

No intuito de apresentar os resultados, este trabalho está organizado da seguinte forma. Além desta introdução, há 7 seções. A seção 2 apresenta alguns fatos espaciais do crescimento do CRE, usando dados do BEN 2006. A seção 3 faz uma breve revisão da literatura sobre comportamento espacial do CRE. A seção 4 apresenta duas medidas de distribuição e desigualdade espacial que foram usadas no desenvolvimento do estudo. A seção 5 descreve a base de dados utilizada. A seção 6 analisa o comportamento da distribuição espacial do CRE total e da desigualdade espacial do CRE per capita. Por último, a seção 7 apresenta comentários conclusivos enfatizando implicações para a política energética e propostas para futuros estudos.

## 2. Evolução do CRE

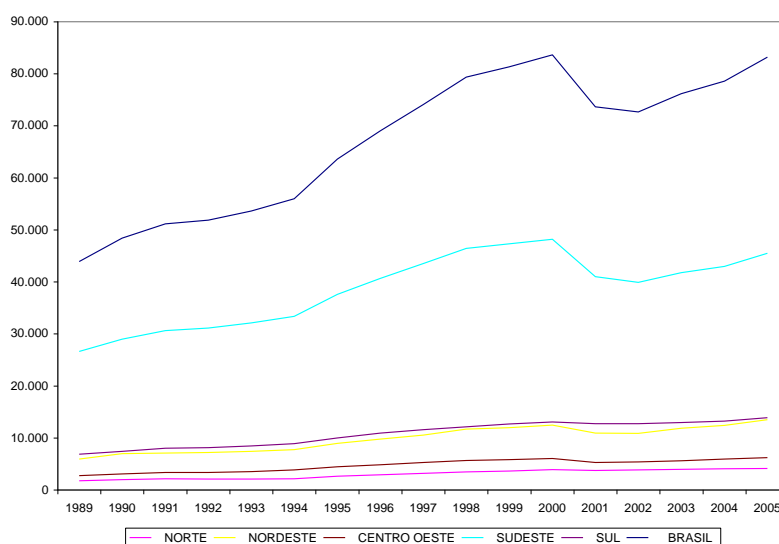
---

<sup>1</sup> Os autores agradecem os comentários e sugestões de Eduardo Almeida, assumindo porém toda responsabilidade por erros e omissões deste trabalho.

Depois do consumo industrial, o CRE é a principal categoria de consumo, tendo representado 22% do consumo total de eletricidade em 2005. Entre 1989 e 2005, o CRE cresceu substancialmente, saindo de 43,9 GWh em 1989 para 83,2 GWh em 2005, o que representou um acréscimo de 84,5% no período. Este forte crescimento do CRE, embora tenha sido comum a todas as regiões do país, foi mais intenso nas regiões menos avançadas. Enquanto Sudeste e Sul cresceram 70,9% e 103%, respectivamente, as demais regiões apresentaram taxas substancialmente maiores, como 139% para o Norte, 126,6% para o Nordeste e 125,2% para o Centro-Oeste.

O gráfico 1 ilustra a evolução anual, entre 1989 e 2005, do CRE para o Brasil e suas regiões. O nível de CRE brasileiro evoluiu de forma sempre ascendente entre 1989 e 2000, tendo apresentado um decréscimo apenas em 2001, de 12,2%, em decorrência do racionamento do consumo de eletricidade implementado naquele ano. Esse padrão da evolução temporal do CRE brasileiro é similar ao da Região Sudeste, que é responsável pela maior parcela do CRE do país e que apresentou decréscimo de 14,9% em 2001. As Regiões Nordeste e Centro-Oeste reproduziram esse mesmo comportamento, com quedas de 12,4% e 12,8%, respectivamente. As Regiões Norte e Sul, no entanto, contraíram-se em apenas 4,2% e 2,5%, respectivamente, em 2001.

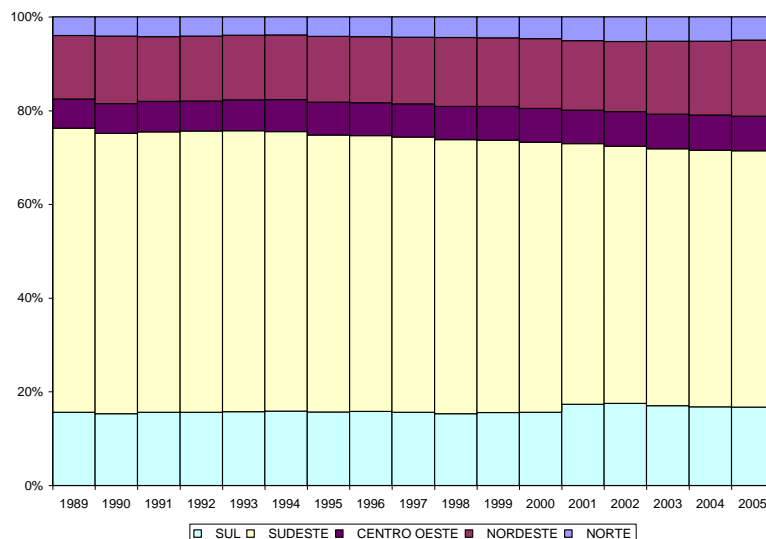
Gráfico 1  
Consumo Residencial Eletricidade por Região 1989–2005 (GWh)



Fonte: Balanço Energético Nacional. EPE (2006).

As elevadas taxas de crescimento recentes das Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste vêm produzindo uma redistribuição do CRE brasileiro para elas. Enquanto Sudeste e Sul eram responsáveis por 76,2% do CRE nacional em 1989, sua participação conjunta reduziu-se para 71,4% em 2005; ou seja, uma redução de 4,8% que foi absorvida pelas demais regiões. O gráfico 2 ilustra esse movimento, ficando claro o progressivo aumento de participação de Norte e Nordeste, às expensas sobretudo do Sudeste. Vale observar que hoje as Regiões Nordeste e Sul praticamente se igualam, com participação de 16,2% para a primeira e 16,7% para a segunda, situação distinta da que prevalecia em 1989 quando essas participações eram de 13,6% e 15,6%, respectivamente.

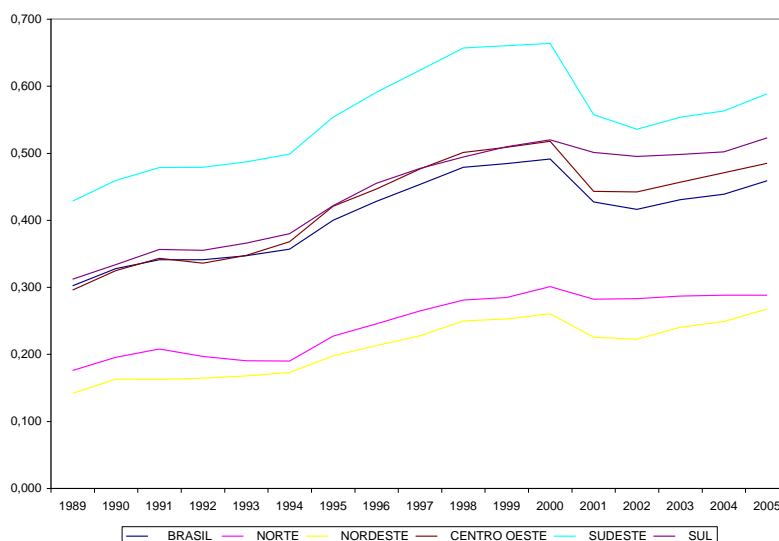
Gráfico 2  
Distribuição Espacial do Consumo Residencial de Eletricidade 1989–2005 (MWh)



Fonte: Balanço Energético Nacional. EPE (2006).

O CRE per capita brasileiro também apresentou forte crescimento, de 51,8% no período, passando de 302 kWh/hab/ano em 1989 para 459 kWh/hab/ano em 2005. Aqui, também, o forte crescimento do CRE per capita foi comum a todas as regiões e mais intenso nas regiões menos avançadas. À exceção do Sul, que também apresentou um proeminente crescimento de 67,5%, as regiões mais avançadas cresceram relativamente menos. O Sudeste cresceu apenas 37,3 %, em comparação com os crescimentos do Norte, de 63,8%, do Nordeste, de 89,1%, do Centro-Oeste, de 63,9% e do Sul, de 67,5%. Este movimento indica uma tendência à equalização dos consumos per capita entre as regiões, embora o diferencial ainda seja substancial entre o grupo de regiões formado por Sudeste, Sul e Centro-Oeste vis-a-vis Norte e Nordeste, conforme fica claro pelo gráfico 3. Além disso, o padrão de evolução temporal do CRE per capita é similar ao do CRE total, fruto do crescimento linear e mais amortecido da população no mesmo período, conforme dados demográficos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004).

Gráfico 3  
Consumo Residencial de Eletricidade Per Capita 1989–2005



Esses movimentos do CRE total e per capita colocam questões relevantes do ponto de vista das políticas e estratégias energéticas para o setor elétrico. De certa forma, essa distribuição/equalização espacial do CRE pode estar contribuindo para uma expansão mais acelerada do CRE total brasileiro em anos recentes. Embora isso seja desejável para o bem estar social da população, cujos padrões de consumo de energia elétrica estariam se equalizando em patamares mais elevados, por outro lado a sociedade brasileira enfrenta no momento importantes desafios de promover a expansão da capacidade de oferta do setor elétrico (EPE, 2007).

Por exemplo, cabe indagar se essa tendência geral de crescimento do CRE a nível das grandes regiões se traduziu também numa maior distribuição do CRE total e numa menor desigualdade do CRE per capita entre os estados. Em caso positivo, cabe indagar também se o aumento da distribuição/equalização entre as regiões é reflexo ou não do aumento da distribuição/equalização entre os estados em cada região. Para se fazer uma análise assim mais desagregada, em níveis estaduais, é conveniente o uso de medidas apropriadas. Adiante, na seção 4 deste trabalho, duas medidas para analisar esses aspectos são apresentadas.

### **3. Literatura Sobre Comportamento Espacial do CRE**

A literatura especializada, tanto nacional quanto estrangeira, é escassa no que se refere a estudos sobre distribuição e desigualdade espacial do CRE. Os estudos existentes sobre CRE normalmente se voltam para a estimação empírica de modelos econométricos, como é o caso, por exemplo, de Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2002), e Mattos e Lima (2005). Os dois primeiros desses estudos estimam modelos para o Brasil, ao passo que o último o faz para o Estado de Minas Gerais. Os raros casos em que se analisa, de forma decomposta espacialmente, o comportamento do CRE no Brasil não são estudos acadêmicos, mas relatórios técnicos descritivos e conjunturais, em geral emitidos por empresas ou órgãos do setor como é o caso de EPE (2007).

Por outro lado, a literatura é abundante de estudos que estudam distribuição e desigualdade de renda, havendo vários que examinam aspectos espaciais. Muitos desses estudos utilizam medidas de desigualdade de renda como o índice de Gini ou o índice de Theil. Um conjunto menor, mas ainda assim expressivo, de estudos examina a relação específica entre crescimento econômico e desigualdade de renda. Para os fins deste trabalho, merece nota os estudos de Chen (2003) e de Rangel, Andrade e Divino (2007). O primeiro, utilizando uma amostra de 45 países, e o segundo, usando cerca de 4 mil municípios brasileiros, identificaram empiricamente um formato de “U invertido” para a relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda. O principal ponto desses estudos é que se a desigualdade é muito pequena ou muito grande, isso é ruim para o crescimento econômico, mas a própria forma em U invertido permite admitir uma faixa intermediária de desigualdade de renda que impacta positivamente o crescimento econômico<sup>2</sup>.

Foram estudos sobre distribuição de renda que inspiraram o presente trabalho. Por um lado, pela proposição de medidas de distribuição e desigualdade que motivaram

---

<sup>2</sup> Outras importantes referências no contexto brasileiro é o livro de Hoffman (1998) e o trabalho de Barros e Mendonça (1997).

a mensuração dessas características com relação ao comportamento espacial do CRE brasileiro. Segundo, pelo argumento econômico apontado de que há níveis intermediários de desigualdade de renda que impactam positivamente o crescimento econômico. Transpondo para o exame do CRE, isso significa que podem haver faixas de desigualdade espacial do CRE que potencializam o seu crescimento futuro. Embora neste trabalho essa hipótese não tenha sido objeto de verificação empírica, ela motivou em boa parte a análise feita aqui.

#### 4. Medidas Espaciais de Distribuição e Desigualdade

Estudos de teoria da informação forneceram importantes medidas para se examinar o grau de uniformidade de distribuições de probabilidade. A partir do trabalho pioneiro de Shanon (1948), várias dessas medidas foram propostas (para detalhes, ver Kapur e Kesavan (1992)). Dentre elas, uma medida muito conhecida e que veio a ser usada em várias áreas fora da probabilidade é a medida de Kullback–Leibler (e.g., Kullback (1959)). Sua expressão matemática<sup>3</sup> é dada por:

$$KL = \sum_{i=1}^k p_i \ln \frac{p_i}{q_i} \quad (1)$$

em que  $p = \{p_1, \dots, p_k\}$  e  $q = \{q_1, \dots, q_k\}$  são duas distribuições de probabilidade para  $k$  eventos mutuamente exclusivos. Esta medida é não negativa, não possui limite superior e atinge seu valor mínimo (igual a 0) quando  $p$  e  $q$  são distribuições idênticas. Ela serve para medir o quão diferentes são duas distribuições de probabilidade, de forma que quanto maior seu valor, maior a divergência entre as distribuições  $p$  e  $q$ . Se  $q$  for a distribuição uniforme (i.e., cada  $q_i = 1/k$ ),  $KL$  pode ser usada diretamente como uma medida de *grau de distribuição* (ou *concentração*) das probabilidades  $p_i$ , pois estará comparando a distribuição  $p$  com a distribuição uniforme, que tem máxima distribuição entre suas probabilidades.

Embora tenha sido desenvolvida para distribuições de probabilidade, a medida  $KL$  encontra várias aplicações em diferentes áreas do conhecimento quando o interesse se centra em *distribuições de proporções*. No presente contexto, se  $p$  for a distribuição estadual do consumo de energia elétrica e  $q$  for a distribuição estadual da população, ambas medidas como proporções do total do país, então a medida  $KL$  pode ser usada para comparar essas duas distribuições. Para descrevê-la nesse contexto, considere um país dividido em  $K$  estados e que esses estados se agregam em  $G$  regiões, de forma que:

$$n = \sum_{i=1}^K n_i = \sum_{j=1}^G m_j$$

em que  $n$  é a população total do país,  $n_i$  a população do  $i$ -ésimo estado e  $m_j$  a população da  $j$ -ésima região. De forma análoga, podemos representar o consumo espacial como:

---

<sup>3</sup> O uso da medida de Kullback–Leibler em análise espacial e regional não é nova e remonta aos trabalhos de Wilson (1970a e 1970b), que usou de forma pioneira as medidas de informação em planejamento urbano.

$$c = \sum_{i=1}^K c_i = \sum_{j=1}^G g_j$$

em que  $c$  é o CRE total do país,  $c_i$  o CRE do  $i$ -ésimo estado e  $g_j$  o CRE da  $j$ -ésima região. A medida  $KL$  pode ser usada aqui de duas maneiras. Na primeira, ela seria escrita como:

$$KL_1 = \sum_{i=1}^K \frac{c_i}{c} \ln \frac{c_i/c}{1/K} \quad (2)$$

Nesta versão,  $KL_1$  compara a distribuição espacial do consumo com a distribuição uniforme e indica diretamente o grau de distribuição (ou uniformidade) espacial do consumo total. Na segunda versão,  $KL$  seria escrita como:

$$KL_2 = \sum_{i=1}^K \frac{c_i}{c} \ln \frac{c_i/c}{n_i/n} \quad (3)$$

Aqui,  $KL_2$  compara a distribuição espacial do consumo com a distribuição espacial da população. Entretanto, um aspecto interessante dessa segunda versão é que  $KL_2$  serve para medir o grau de desigualdade espacial do consumo per capita, no estilo de medidas similares usadas em estudos de desigualdade de renda. De fato, com pequenas manipulações algébricas, verifica-se que:

$$KL_2 = \sum_{i=1}^K \frac{n_i}{n} \frac{\bar{c}_i}{\bar{c}} \ln \frac{\bar{c}_i}{\bar{c}} \quad (4)$$

Em que  $\bar{c}_i$  e  $\bar{c}$  são os CREs per capita do estado  $i$  e do país, respectivamente. Esta medida equivale à primeira versão do conhecido índice  $L$  de desigualdade de renda proposto por Theil (1967, 1972) para o caso em que a unidade de análise são regiões e não indivíduos<sup>4</sup>.

É possível estabelecer uma relação convexa entre os conceitos de distribuição e de desigualdade espaciais do CRE. Dada uma distribuição espacial da população entre os estados, situações extremas da distribuição espacial do consumo total (muito distribuída entre os estados ou muito concentrada em poucos estados) implicam em maior desigualdade entre os consumos per capita estaduais; para situações intermediárias, menor desigualdade. Um nível mínimo de desigualdade é atingido quando a distribuição espacial do consumo total se iguala à da população. Esses aspectos estão ilustrados na figura 1.

---

<sup>4</sup> Matematicamente, esta medida pode ser vista como uma generalização do índice  $L$  de Theil. O último equivale à  $KL_2$  no caso especial em que  $n_i/n = 1/K$ .



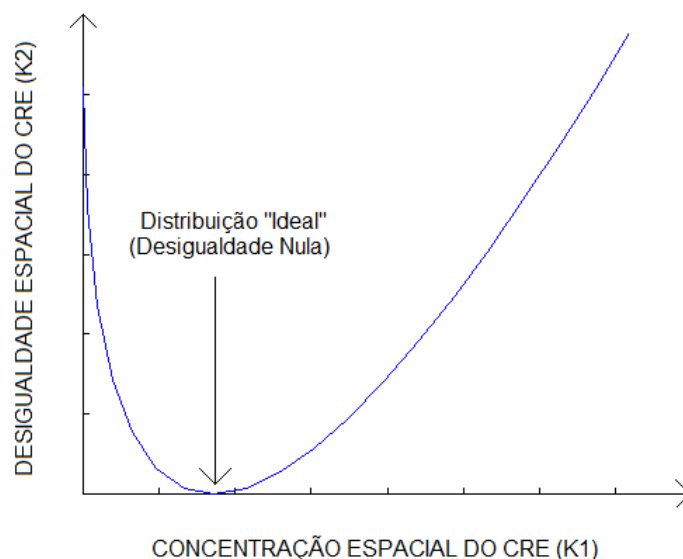


Figura 1: Relação entre os conceitos de distribuição e desigualdade espaciais do CRE. Do ponto de vista social, a distribuição espacial “ideal” do CRE total no presente contexto corresponde à distribuição espacial atual da população. Distribuições espaciais do CRE total mais dispersas ou mais concentradas do que a da população implicam em desigualdade positiva e ascendente do CRE per capita. Quando a distribuição espacial do CRE total iguala a da população, a desigualdade do CRE per capita é nula.

Uma explicação intuitiva para essa forma em “U” seria a seguinte. Considere a distribuição atual da população entre os estados (que é diferente da uniforme). Se o CRE estivesse concentrado em um número bem pequeno de estados (ou mesmo num só), então a desigualdade do CRE per capita seria naturalmente elevada. Em uma situação oposta, se o CRE total fosse o mesmo em cada estado (com a população se distribuindo entre os estados de maneira não uniforme), também haveria neste caso alta desigualdade do consumo per capita, com estados mais populosos consumindo o mesmo que estados menos populosos. Só não haveria desigualdade se a distribuição espacial do CRE fosse a mesma que a da população, pois neste caso o CRE per capita seria o mesmo em cada estado.

Do ponto de vista social, a distribuição espacial “ideal” do consumo total para a sociedade seria aquela que proporcionasse o mesmo consumo per capita para todos os estados, ou seja, uma situação em que:

$$\bar{c}_i = \frac{c_i}{n_i} = \bar{c}$$

para  $i = 1, \dots, K$ . Neste caso, pode-se determinar o consumo agregado ideal de cada estado como:

$$c_i^d = n_i \bar{c}$$

e a proporção ideal como:

$$\bar{c}_i^d = \frac{c_i^d}{c} = \frac{n_i \bar{c}}{c} = \frac{n_i c}{cn} = \frac{n_i}{n}$$

Este aspecto é importante porque  $KL_2$ , conforme a equação (3), compara a distribuição do CRE com a da população (distribuição ideal), ou seja, com uma situação de desigualdade nula. Logo,  $KL_2$  mensura adequadamente a desigualdade espacial. Em suma, quanto mais próxima a distribuição estadual do CRE total estiver da distribuição estadual da população, mais equitativo será o CRE per capita entre os estados. Entretanto, deve-se observar que  $KL_2$ , por ser uma medida baseada em unidades agregadas (i.e., de indivíduos em cada região), não considera as desigualdades de consumo entre os indivíduos residentes dentro de cada estado. Essas desigualdades poderiam estar acontecendo mesmo numa situação de equidade plena do consumo per capita entre os estados.

Outra propriedade interessante de  $KL_2$  é que, enquanto medida de desigualdade, ela é aditivamente decomponível (Shorrocks, 1980). Isso significa que ela pode ser expressa como a soma de dois termos, onde o primeiro representa a desigualdade *intra-regional* e o segundo a desigualdade *inter-regional*:

$$KL_2 = KL_A + KL_E \quad (5)$$

em que:

$$KL_A = \sum_{j=1}^G \frac{g_j}{c} \sum_{i=1}^{ng_j} \frac{c_i}{g_j} \ln \frac{c_i / g_j}{n_i / n_j} \quad (\text{desigualdade intra-regional}) \quad (6)$$

$$KL_E = \sum_{j=1}^G \frac{g_j}{c} \ln \frac{g_j / c}{n_j / n} \quad (\text{desigualdade inter-regional}) \quad (7)$$

Dessa forma,  $KL_2$  permite também analisar as fontes da desigualdade interestadual, pois identifica se o preponderante é a desigualdade do CRE per capita entre os estados que estão dentro de cada região (intra) ou entre as regiões em si (inter).

## 5. Dados

Para se implementar a análise, foram construídas séries temporais anuais, no período 1989–2005, das medidas  $KL_1$  e  $KL_2$  apresentadas na seção anterior. Os dados de CRE por estado foram obtidos do BEN 2006 (EPE, 2006). Por sua vez, os dados de população por estado foram obtidos dos censos de 1991 e 2000 realizados pelo IBGE. Para os demais anos foram usadas estimativas da população construídas também pelo IBGE (2006).

## 6. Resultados e Análise

Esta seção analisa, ao longo do tempo, o comportamento da distribuição e da desigualdade do CRE no espaço brasileiro. Inicialmente, séries anuais da medida  $KL_1$  foram calculadas para o CRE e para a população segundo a equação (2). O objetivo foi o de verificar se a distribuição espacial de ambos está aumentando, fazendo-se a comparação com a distribuição espacial uniforme (i.e.,  $c_i = 1/K$ , para todo  $i$ ). Os resultados estão apresentados no gráfico 4. No caso do CRE, há uma nítida tendência de redução de  $KL_1$ , o que indica um aumento progressivo de distribuição espacial entre os

estados ao longo do tempo. No caso da população, não se verifica uma tendência de redução de  $KL_1$  ou esta tendência é praticamente imperceptível, logo a distribuição da população pouco se altera ao longo do tempo. Apesar disso, o fato de que a linha para o CRE total oscila em níveis mais altos do que a linha da população indica que a segunda é mais distribuída espacialmente. Isso reflete o fato de que, embora o CRE total venha se distribuindo cada vez mais pelo espaço, sua distribuição ainda é significativamente mais concentrada que a da população.

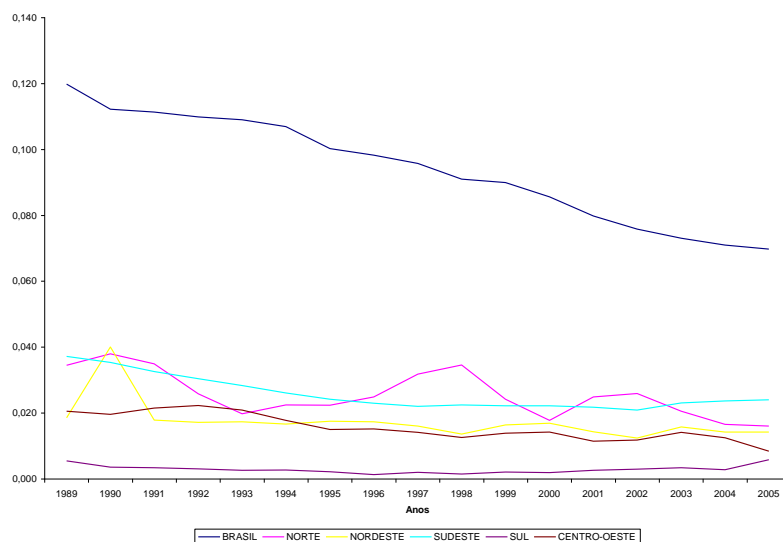
Gráfico 4  
Distribuição Espacial do CRE total e da População



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN(2006)

O gráfico 5 mostra o cálculo de  $KL_2$ , que foi feito anualmente para todo o Brasil (todos os estados) e para as cinco regiões do país (considerando-se os estados respectivos). Como visto na seção 3,  $KL_2$  serve como medida de desigualdade espacial do consumo per capita. O comportamento acentuadamente declinante de  $KL_2$  para o Brasil, se comparado às regiões, mostra que a desigualdade interestadual para todo o país vem diminuindo de forma bem mais intensa do que as desigualdades regionais. Ou seja, a distribuição do CRE entre os estados dentro de cada região vem mudando menos do que quando se olha para todo o conjunto de estados brasileiros. Entre 2002 e 2005, a desigualdade interestadual do Sudeste e do Sul aumentaram, indicando maior concentração espacial dentro delas.

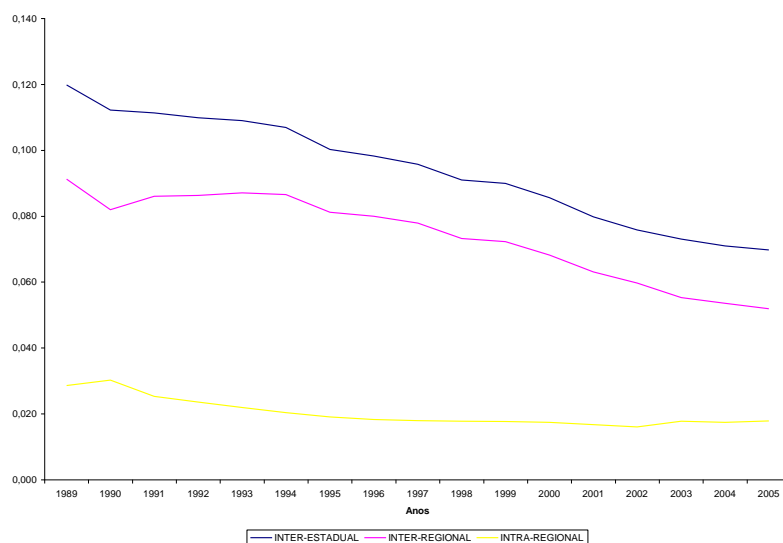
Gráfico 5  
Desigualdade Interestadual e Intra-regionais do CRE per capita: Brasil e Regiões



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN(2006)

Esse último aspecto também é confirmado pelo gráfico 6, que apresenta novamente a desigualdade interestadual para o Brasil mas com sua decomposição em dois fatores associados à desigualdade inter-regional ( $K_A$ ) e à desigualdade intra-regional ( $K_E$ ), conforme as equações (5)–(7). É nítido, aqui, que o principal fator de redução da desigualdade interestadual do CRE per capita brasileiro ao longo do tempo é a redução da desigualdade inter-regional. De fato, a primeira reflete bastante o comportamento da última, uma vez que o componente da desigualdade intra-regional pouco se altera de 1989 a 2005. Em outras palavras, o CRE vem se distribuindo de estados em regiões mais desenvolvidas para os estados em regiões menos desenvolvidas; no entanto, esse movimento não está se traduzindo numa mudança significativa na posição relativa dos estados dentro das regiões.

Gráfico 6  
Decomposição da Desigualdade Inter-estadual do CRE per capita



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEN(2006)

Os indicadores aqui analisados, portanto, indicam que o CRE brasileiro vem se distribuindo mais pelo espaço brasileiro e que a desigualdade do CRE per capita vem

diminuindo em favor de estados em regiões menos desenvolvidas do país. Considerando as dimensões continentais brasileiras, essa tendência de maior distribuição e maior equalização do CRE trazem uma perspectiva de agravamento no futuro dos desafios de se garantir o suprimento de energia elétrica. As conseqüências disso impactam tanto a questão de expansão da geração quanto a de expansão da rede física de transmissão e distribuição do sistema elétrico brasileiro. O aumento da distribuição espacial do CRE tem impactos mais diretos sobre o problema da expansão da rede física. No entanto, a tendência de aumento do CRE total verificado nos últimos anos impacta também a questão da geração.

Além disso, há ainda outro agravante a se considerar, que é a possibilidade de que, devido a uma cada vez menor desigualdade espacial do CRE, o potencial de crescimento do CRE total esteja aumentando. Como mencionado na seção 3, existem estudos apontando que certas faixas de valores intermediários da desigualdade de renda impactam positivamente o crescimento econômico. Este mesmo tipo de fator pode estar em operação aqui no caso do comportamento espacial do CRE. Embora não tenha sido objeto deste estudo verificar empiricamente tal relação, não há porque também descartá-la. Assim, se o potencial de crescimento futuro estiver aumentando a expansão da geração de energia elétrica a ser garantida no futuro fica ainda maior.

## **7. Conclusão**

Este estudo analisou o comportamento, entre 1989 e 2005, da distribuição e da desigualdade do consumo residencial de eletricidade no Brasil, através de medidas de informação. Duas medidas foram usadas, uma para mensurar distribuição estadual do CRE total e outra para mensurar desigualdade estadual do CRE per capita. Estes aspectos não foram investigados na literatura especializada e apenas parcialmente foram considerados em estudos e relatórios técnicos publicados por órgãos e empresas do setor elétrico.

Foi possível constatar que, espacialmente, a distribuição do CRE brasileiro veio aumentando e a desigualdade diminuindo, beneficiando proporcionalmente mais os estados em regiões menos desenvolvidas do país. Observou-se também que a redução da desigualdade se deve mais à redução da desigualdade entre as regiões (inter-regional) e menos à redução da desigualdade entre os estados dentro de cada região (intra-regional).

Tanto o aumento da distribuição quanto a redução da desigualdade (espaciais) tendem a produzir impactos positivos sobre o crescimento do CRE total do país. Além da tendência apresentada pelo CRE total de seguir crescendo no futuro, o estudo apontou a possibilidade de que este crescimento esteja sendo potencializado pelo movimento de redução da desigualdade espacial. Embora esta hipótese não tenha sido aqui testada, ela é coerente com resultados obtidos por estudos sobre a relação entre desigualdade de renda e crescimento econômico.

Esta situação tende a agravar os desafios da sociedade de garantir o suprimento futuro de eletricidade. As perspectivas sinalizadas indicam que o comportamento espacial do CRE deve ser considerado mais cuidadosamente no desenho de políticas e estratégias para se garantir o suprimento futuro de eletricidade, tanto para o segmento residencial como para os demais segmentos de consumo. Por exemplo, os resultados aqui obtidos indicam que a distribuição e a desigualdade espaciais do CRE devem ser considerados no desenvolvimento de sistemas e modelos de previsão do consumo de eletricidade, os quais são usados por órgãos e empresas do setor elétrico para proporcionar um bom funcionamento do novo modelo regulatório vigente para o setor.

Finalmente, diante da ainda escassa literatura sobre o comportamento espacial do CRE, vários estudos futuros de interesse podem ser delineados, mas duas linhas de investigação já se mostram oportunas. Primeiro, a aplicação das medidas aqui propostas para investigar o comportamento espacial em níveis mais desagregados, como municípios ou microrregiões, podem trazer mais benefícios sobretudo para as estratégias das distribuidoras de eletricidade que fazem atendimento regional/local de residências. Além disso, a relação entre potencial de crescimento do CRE com a desigualdade espacial também merece ser mais estudada, podendo-se para tanto usar metodologias econométricas similares às que vêm sendo usadas em estudos sobre distribuição de renda e crescimento econômico, com a possibilidade inclusive de se controlar para outras variáveis relevantes.

## Referências

ANDRADE, T. e LOBÃO, W. Elasticidade renda e preço da demanda Residencial de Energia Elétrica no Brasil. Texto Para Discussão. Rio de Janeiro: IPEA, 1997

BARROS, R. P. e MENDONÇA, R. O impacto do crescimento econômico e de reduções no grau de desigualdade sobre a pobreza. Texto para Discussão no. 528. Rio de Janeiro: IPEA, 1997.

CHEN, B. An inverted-U relationship between inequality and long-run growth. *Economic Letters* v. 78, no. 2. 2003

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Consumo Final e Conservação de Energia Elétrica: 1970 – 2005. Rio de Janeiro: EPE, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

HOFFMAN, R. Distribuição de renda: medidas de desigualdade e pobreza. São Paulo: Edusp, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estimativa das populações municipais: Metodologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

KULLBACK, S. Information theory and statistics. New York: Wiley. 1959.

KAPUR, J.N. e KESAVAN, H.K. Entropy optimization principles with applications. London: Academic Press. 1992.

MATTOS, L. B. e LIMA, J. E. Demanda Residencial de energia elétrica em Minas Gerais. *Revista Nova Economia*. Vol. 15, n<sup>o</sup>. 3, 2005.

RANGEL, L. a., ANDRADE, J. e DIVINO, J. A. Crescimento econômico e desigualdade de renda no Brasil de 1991 a 2000: uma análise das áreas mínimas comparáveis. Texto para Discussão. Rio de Janeiro: IPEA, 2007.

SCMIDT, C. J. S. e LIMA, M. A.. Estimações e Previsões da Demanda por Energia Elétrica no Brasil. Brasília: SEAE 2002.

SHANNON, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 27, 379-423.

SHORROCKS, A. F. The class of additively decomposable inequality measures. Econometrica, v. 48, no. 3, 613–625. 1980.

THEIL, H.. Statistical Decomposition Analysis. Londres: North–Holland. 1972.

THEIL, H. Economics and Information Theory. Amsterdam: North–Holland. 1967.

Wilson, A.G. (1970a). The use of the concept of entropy in system modelling. Operational Research Quarterly, 21, 247-265.

WILSON, A. G. (1970b). Entropy in urban and regional modelling. Monographs in spatial and environmental systems analysis. London: Pion.