



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Indicadores de Renda baseados em Consumo de Energia Elétrica: Um Potencial Novo Modelo de Negócios para as Distribuidoras de Energia Elétrica

<b>Eduardo de Rezende Francisco</b>	<b>Francisco Aranha</b>	<b>Peter A. Whigham</b>
<b>AES Eletropaulo e FGV-EAESP</b>	<b>FGV-EAESP</b>	<b>University of Otago – Nova Zelândia</b>
eduardo.francisco@aes.com	francisco.aranha@fgv.br	PWhigham@infoscience.otago.ac.nz

#### Palavras-chave

Consumo de Energia Elétrica; Critério Brasil; Geoestatística; Indicadores Sócio-Econômicos; Renda Familiar

#### Resumo

Este trabalho investiga a relação entre consumo de energia elétrica, classificação socioeconômica e renda familiar, a partir dos microdados do Censo Demográfico 2000, do IBGE, e da base de consumidores residenciais da AES Eletropaulo no período de Setembro de 1999 a Agosto de 2000. A partir das 456 áreas de ponderação (agrupamentos de setores censitários) do município de São Paulo, conclui-se que consumo de energia elétrica é uma excelente *proxy* para renda familiar. Através do uso de técnicas de regressão multivariada e geoestatística (SAR e GWR), as relações entre Renda, Consumo de Energia Elétrica e Classificação Econômica do Critério Brasil mostraram-se muito fortes (os coeficientes de explicação da renda atingiram valores de 0,868 a 0,968), permitindo que medidas de consumo médio de energia elétrica agregadas em áreas de ponderação sejam ótimos indicadores regionais de concentração de renda e classificação econômica para o município de São Paulo. Por serem disponíveis e de atualização mensal, os indicadores de consumo de energia elétrica, quando disponibilizados pelas empresas de distribuição de energia, podem ser de grande utilidade para empresas de mercado, gestores públicos e analistas de crédito, como subsídio a estratégias que necessitem de informações de classificação, concentração e previsão da renda domiciliar.

#### 1. INTRODUÇÃO

Renda é o indicador tradicionalmente adotado em estudos sobre condições de vida e pobreza (BUSSAB; FERREIRA, 1999), uma vez que é através dela que se dá o acesso aos bens e serviços necessários à sobrevivência. Entende-se renda como a soma do rendimento mensal de trabalho com o proveniente de outras fontes (IBGE, 2003). No entanto, a dificuldade em obter informações precisas sobre essa variável, freqüentemente alterada por subdeclaração, superdeclaração, esquecimento, sazonalidade da fonte dos rendimentos e recusa, torna difícil o uso deste indicador em pesquisas de mercado (BUSSAB; FERREIRA, 1999).

Em consequência disso, os Institutos de Pesquisa optam por captar a Classe Econômica ou o Poder de Consumo dos indivíduos através de indicadores baseados na posse de bens duráveis da família e no grau de instrução do chefe. Tais indicadores podem ser usados com certa precisão para substituir a

renda. Além de ser uma medida indireta da renda familiar, o estoque de bens possuídos por uma família indica o nível de conforto por ela alcançado ao longo do tempo.

O mais recente indicador deste tipo é o Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB), ou simplesmente Critério Brasil, definido em 1996 pela Associação Nacional de Empresas de Pesquisa (ANEP). Este indicador é baseado em uma escala de pontos que pode variar de 0 (zero) a 34 (trinta e quatro) pontos, segmentados em 7 classes econômicas (ABEP, 2004).

Porém, o critério apresenta importantes diferenças regionais (ABEP, 2004) e não é adequado para a caracterização de famílias posicionadas nos extremos da distribuição de renda (MATTAR, 1996; SILVA, 2004). O critério se presta a segmentar grandes massas e se adequa bem a estudos de abrangência nacional. Para regiões ou segmentos específicos, estudos aprofundados necessitam de especializações ou adaptações do Critério Brasil para a caracterização inicial da população em análise, muitas vezes envolvendo variáveis que melhor caracterizem a aptidão para o consumo. O uso de indicadores de consumo que tenham abrangência e utilidade gerais pode mostrar-se útil nesse processo de caracterização dos consumidores.

Dentre os indicadores com essa natureza está o consumo de energia elétrica. Nacionalmente, o serviço de fornecimento de energia elétrica abrange 97,0% dos domicílios brasileiros, índice que aumenta para 99,6% na área urbana, para 99,4% na região Sudeste e 99,9% no município de São Paulo (IBGE, 2005). Tem mais capilaridade e cobertura que serviços de outras empresas de utilidades, como telefonia fixa e móvel, água encanada e gás (IBGE, 2003). Isso porque, basicamente, todos têm acesso à luz, principalmente quando consideradas as ligações clandestinas e fraudes, mas nem todos têm água encanada, ou mesmo telefone. Além disso, as bases de dados das distribuidoras de energia elétrica contêm a informação de consumo de cada um de seus clientes, das classes mais às menos favorecidas (FRANCISCO, 2002).

Por ser um serviço essencial, abrangente e relativamente democrático em comparação a outros serviços de utilidade pública, suas informações cadastrais e comerciais podem oferecer subsídio para um conhecimento comparativo de características socioeconômicas e demográficas das famílias em estudo. Ademais, estudos aprofundados em determinadas classes como, por exemplo, as classes mais pobres, requerem mecanismos que permitam detalhamento de faixas específicas e o melhor entendimento do matiz de subníveis de classificação.

Aliados às informações de localização, histórico e sazonalidade, os indicadores elétricos podem ajudar a inferir uma melhor classificação socioeconômica a partir de faixas de consumo, e contemplar uma melhor definição do consumidor de baixa renda em regiões de menor acesso e maior dificuldade de levantamento de bens de consumo.

Para as empresas de varejo, a incorporação do consumo de energia elétrica poderá melhorar a identificação das famílias potenciais consumidoras de ofertas específicas. Consumidores de mesma classificação econômica segundo o Critério Brasil poderão ser diferenciados através do consumo de energia elétrica de seus domicílios. Uma vez que o consumo de energia elétrica, em certa medida, reflete a posse e o uso de bens duráveis de natureza elétrica (GUERREIRO et al., 1996), associado ao total de cômodos do domicílio e ao número de pessoas que o habitam (POMPERMAYER; CHARNET, 1996), as empresas poderão melhorar sua taxa de retorno em materiais promocionais, malas diretas e custos afins, através de uma melhor segmentação de seu mercado, do aumento da reatividade dos consumidores em função de seu maior poder aquisitivo, e da melhor identificação de seu mercado alvo.

Além disso, para as empresas distribuidoras de energia elétrica, a aplicação de um modelo de classificação socioeconômica parcialmente ou totalmente baseado no consumo de energia elétrica propicia maior eficácia em estudos de identificação, segmentação e previsão de mercado, análises de fraude e inadimplência e na elaboração de estratégias de relacionamento com seus clientes, entre outros benefícios (FRANCISCO, 2002).

A discussão neste trabalho se dará através de três construtos principais: Renda Familiar, Classe Econômica (segundo Critério Brasil) e Consumo de Energia Elétrica. As relações a serem examinadas entre eles serão explicadas nos tópicos seguintes. O propósito é investigar a conveniência e utilidade do consumo de energia elétrica na caracterização socioeconômica e de potencial de consumo de famílias de baixa renda do município de São Paulo. Esse estudo pode servir de base para a proposição de um indicador que estenda e refine o Critério Brasil, de forma que os estudiosos de mercado e agentes financeiros possam caracterizar e identificar seu público-alvo com clareza.

O objeto de estudo é o município de São Paulo, e o objetivo é caracterizar as relações postuladas em um nível territorial agregado, particularmente considerando as áreas de ponderação (conjuntos de setores censitários) definidas no Censo Demográfico de 2000 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Os microdados do Censo Demográfico 2000 foram usados de forma integrada às informações de consumo residencial do município de São Paulo, para a mesma data de referência de 31 de Julho de 2000, agregadas na mesma unidade geográfica de referência do censo. A população do município de São Paulo totalizava 10.435.546 habitantes em 2000, correspondentes a 3.131.389 famílias (IBGE, 2002).

A próxima seção apresentará uma breve revisão da literatura sobre o assunto, seguida do desenvolvimento da metodologia utilizada neste estudo. Posteriormente, serão apresentados os resultados das análises e as principais conclusões.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Os principais conceitos, contextos e construtos que suportam este estudo são descritos abaixo; as relações entre os construtos são também apresentadas no decorrer do texto.

### **2.1. Família, Domicílio e Renda**

O conceito de Família adotado neste trabalho é o mesmo do IBGE (2004, p.19): “conjunto de pessoas ligadas por laços de parentesco, dependência doméstica ou normas de convivência, residente na mesma unidade domiciliar, ou pessoa que mora só em uma unidade domiciliar”. Pressupõe-se, pois, uma relação intrínseca entre Família e Domicílio. Este último é “o local de moradia estruturalmente separado e independente, constituído por um ou mais cômodos” (IBGE, 2004, p. 22). De caráter mais detalhado, para a Fundação SEADE (2005, p. 15), “é o local de moradia (...) com entrada independente e separação. Entende-se por entrada independente o acesso direto à moradia, sem passagem por cômodos destinados à residência de outras pessoas, e por separação o local de moradia que é limitado por paredes, muros, cerca etc., além de ser coberto por um teto, o que permite às famílias ou às pessoas que o habitam isolarem-se das demais”.

Operacionalmente, o Censo Demográfico obtém uma visão das pessoas que compõem a família e habitam o domicílio através da coleta da informação da relação da pessoa com o responsável pela família e da relação da pessoa com o responsável pelo domicílio (IBGE, 2002). Tal diferenciação se dá pela possibilidade de coexistência de mais de uma família em um mesmo domicílio. Domicílios multifamiliares, no entanto, são raros – 98,4% dos domicílios em distritos de baixa renda do município de São Paulo são unifamiliares (SEADE, 2005).

Entende-se Renda como a soma do rendimento mensal de trabalho com o proveniente de outras fontes (IBGE, 2003). Tal conceito considera população em idade ativa (PIA) (pessoas de 10 anos ou mais de idade), segundo o IBGE (IBGE, 2003, 2004) e a Fundação SEADE (SEADE, 2005) e se aplica ao indivíduo (normalmente o chefe ou responsável pela família), à família ou ao domicílio. O rendimento mensal de trabalho se aplica à população economicamente ativa (PEA), que corresponde à parcela da PIA que está ocupada ou desempregada (SEADE, 2005). Adicionalmente, considera-se a renda per capita, ou o rendimento mensal familiar per capita, como a divisão do rendimento mensal familiar pelo

número de componentes da família, exclusive aqueles cuja condição na família seja pensionista, empregado doméstico ou parente do empregado doméstico.

## 2.2. Classificação Econômica e Critério Brasil

Em 1996, o Critério de Classificação Econômica Brasil, ou simplesmente Critério Brasil, foi criado pela ANEP. Em 2004, a Associação Brasileira das Empresas de Pesquisa (ABEP) foi fundada e tornou-se responsável pela normatização do Critério Brasil (ABEP, 2004). Utiliza indicadores de posse de bens duráveis da família e de grau de instrução do chefe da família para compor uma escala de pontos que pode variar de 0 (zero) a 34 (trinta e quatro) pontos, e pode ser segmentado em 7 classes econômicas, apresentadas em ordem decrescente de renda a seguir: A1, A2, B1, B2, C, D e E.

O critério é freqüentemente criticado por suas limitações na segmentação da população de acordo com o estilo de vida ou classificação social (SILVA, 2004). A Figura 1 a seguir apresenta a pontuação do critério e a composição das classes econômicas.

Posse de Itens (Bens duráveis) e Empregada mensalista					
	Não tem	T E M			
		1	2	3	4 ou +
Televisão em cores	0	2	3	4	5
Rádio	0	1	2	3	4
Banheiro	0	2	3	4	4
Automóvel	0	2	4	5	5
Empregada mensalista	0	2	4	4	4
Aspirador de pó	0	1	1	1	1
Máquina de lavar	0	1	1	1	1
Videocassete e/ou DVD	0	2	2	2	2
Geladeira	0	2	2	2	2
Freezer (aparelho independente ou parte da geladeira duplex)	0	1	1	1	1

Grau de Instrução do chefe de família	
Analfabeto / Primário incompleto	0
Primário completo / Ginásial incompleto	1
Ginásial completo / Colegial incompleto	2
Colegial completo / Superior incompleto	3
Superior completo	5

Classe	PONTOS
A1	30-34
A2	25-29
B1	21-24
B2	17-20
C	11-16
D	6-10
E	0-5

FIGURA 1. Composição de Pontos e Classificação Econômica do Critério Brasil

Fonte: Adaptado de ABEP, 2004.

A distribuição da população das diversas regiões brasileiras nas classes econômicas do Critério Brasil mostra-se variada, o que, segundo ABEP (2004), reflete sua discriminação efetiva do poder de compra entre as diversas regiões e “é uma comprovação adicional da conveniência do Critério de Classificação Econômica Brasil” (ABEP, 2004, p. 3).

## 2.3. Consumo de Energia Elétrica

Muitos estudos mostram que o consumo de energia elétrica a concentração da utilização da energia elétrica está intimamente relacionada com a concentração de renda no país. Muitos autores (como AES ELETROPAULO, 2005; ELETROBRÁS, 2001; LEITE, 1997; MADUREIRA, 1996; POMPERMAYER; CHARNET, 1996; JANNUZZI; SCHIPPER, 1991; LINS; ANDRADE, 1989; BÔA NOVA, 1985) buscam caracterizar o consumo de energia elétrica, especificamente em sua seção residencial, a partir de uma explicação da variação da renda familiar ou domiciliar. Pompermayer e Charnet (1996) encontraram influência estatisticamente significativa de fatores sociais e demográficos no consumo de eletricidade do Estado de São Paulo.

A eletricidade é responsável por 64,2% de toda a energia consumida pelo setor residencial brasileiro (MME, 2001<sup>1</sup> apud ACHÃO, 2003), e é crescente essa participação. A partir de 2001, com o advento do Racionamento, a participação da eletricidade no consumo final do setor residencial caiu de 54,8% para 48,8% (SÃO PAULO, 2005), no Estado de São Paulo. Esse evento proporcionou o aumento da participação do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e do Gás Natural no Estado. Após o Racionamento, a tendência de crescimento da eletricidade em participação parece ter voltado à sua forma anterior.

<sup>1</sup> MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, *Balanco Energético Nacional 2000*. Brasília, Brasil: Author, 2001.

### 3. METODOLOGIA

Apresentaremos a seguir os aspectos operacionais das variáveis utilizadas neste trabalho, dentro da metodologia aplicada. Esta parte descreverá os microdados do Censo Demográfico 2000, seu período de observação, unidade de referência, operacionalização, questionário, variáveis e número de casos; e os dados de consumo de energia elétrica, suas principais definições, informações disponibilizadas, período de extração dos dados, granularidade e estatísticas utilizadas, análises realizadas e verificação das hipóteses. Em especial, a estratégia de agregação, integração e comparação entre os dois conjuntos de dados analisados em nível territorial serão também discutidas.

#### 3.1. *Microdados do Censo Demográfico 2000 do IBGE*

As estatísticas oficiais constituem um elemento indispensável ao sistema de informação de uma sociedade democrática. Elas proporcionam ao Governo, à economia e ao público em geral dados acerca da situação econômica, demográfica, social e ambiental de sua população. São, por definição, produzidas por órgãos oficiais que se destinam ao conhecimento da realidade do país, e geram direitos e obrigações (BITTENCOURT, 2005). O IBGE está entre as principais fontes de informação oficial do país. O Censo Demográfico ocorre desde 1890, e decenalmente desde 1940. Sua informação é confidencial e pode ser usada apenas com propósitos estatísticos.

A coleta do Censo Demográfico 2000 foi realizada no período de 1º de Agosto a 30 de Novembro de 2000. Sua data de referência é 31 de Julho de 2000. Foram pesquisados 54.265.618 domicílios, nos 5.507 municípios existentes em 2000, de todo o território nacional, tendo mobilizado mais de 200 mil pessoas (IBGE, 2002). Destina-se a dois propósitos, que se traduzem operacionalmente em duas unidades de investigação: (i) domiciliar – conta e levanta informações sobre todos os domicílios do país, e (ii) populacional – conta e levanta informações de toda a população que vive em domicílios.

Para o planejamento do censo, o território nacional foi dividido em 215.811 áreas contíguas, respeitando-se os limites da divisão político-administrativa, do quadro urbano e rural legal, de outras estruturas territoriais de interesse e de dimensão adequada para sua operação. Essa unidade territorial é denominada setor censitário (IBGE, 2002), e engloba de 200 a 300 domicílios. Setor censitário é a unidade territorial de coleta e de controle cadastral percorrida por um único recenseador.

A operacionalização do Censo Demográfico 2000 reflete a realização, na verdade, de duas pesquisas: (i) a pesquisa do Universo, que levanta as características básicas da população, das pessoas responsáveis pelos domicílios e dos domicílios e seus respectivos moradores, para a totalidade da população, e (ii) a pesquisa da Amostra, mais extensa e complexa, aplicada em cerca de 11,7% dos domicílios particulares brasileiros, contendo, adicionalmente ao questionário do Universo, perguntas mais detalhadas sobre características do domicílio e de seus moradores, referentes a educação, religião, cor ou raça, deficiência, migração, fecundidade, nupcialidade, trabalho e rendimento.

Existem 9.336 áreas de ponderação no Brasil (IBGE, 2002). A cidade de São Paulo, dividida administrativamente em 96 distritos, é composta de 13.278 setores censitários, que são agrupados em 456 áreas de ponderação.

Os resultados da pesquisa do Universo são disponibilizados agregados por setores censitários. Os resultados da pesquisa da Amostra são disponibilizados em microdados. Cada unidade de referência é um domicílio, trazendo a área de ponderação (conjunto de setores censitários) como a menor unidade geográfica de agregação. Existem dois arquivos de microdados separados: (i) o conjunto de dados de domicílios; e (ii) o conjunto de dados de pessoas. As entrevistas foram realizadas em 30.669 domicílios na cidade de São Paulo, que representam o universo de 3.032.095 unidades. Informações sobre 1.057.086 pessoas foram obtidas, representando o universo de 10.414.207 pessoas.

### 3.2. Composição da Renda e Cálculo do Critério Brasil Adaptado

Neste trabalho foram computados diversos “tipos” de renda: Renda Total Familiar proveniente do Trabalho Principal, Renda Total Familiar proveniente de Trabalho, Renda Total Familiar, Renda Total Domiciliar proveniente do Trabalho Principal, Renda Total Domiciliar proveniente de Trabalho, Renda Total Domiciliar. A distinção entre Família e Domicílio se dá através das pessoas do domicílio que não são consideradas da família, segundo critérios do IBGE (tipicamente, pensionistas, empregados domésticos e parentes dos empregados). O arquivo de dados de Pessoas provê informações do grau de instrução do chefe do domicílio.

O levantamento do Censo Demográfico 2000 não permite o cômputo exato do Critério Brasil, pois apresenta algumas diferenças de coleta. Tais diferenças culminaram em adaptações realizadas, para a criação do Critério Brasil Adaptado (CBA), cuja pontuação está apresentada na Figura 2 a seguir.

Critério Brasil Adaptado						Critério Brasil					
	Não tem	TEM					Não tem	TEM			
		1	2	3	4 ou +			1	2	3	4 ou +
Televisão	0	2	3	4	5	Televisão	0	2	3	4	5
Rádio	0	1	1	1	1	Rádio	0	1	2	3	4
Banheiro + Sanitário	0	2	3	4	4	Banheiro	0	2	3	4	4
Automóvel	0	2	4	5	5	Automóvel	0	2	4	5	5
Empregada doméstica	0	2	4	4	4	Empregada mensalista	0	2	4	4	4
Aspirador de pó	0	0	0	0	0	Aspirador de pó	0	1	1	1	1
Máquina de lavar	0	1	1	1	1	Máquina de lavar	0	1	1	1	1
Videocassete	0	2	2	2	2	Videocassete	0	2	2	2	2
Geladeira ou freezer	0	2	2	2	2	Geladeira	0	2	2	2	2
						Freezer (independente ou parte da geladeira duplex)	0	1	1	1	1

FIGURA 2. Sistema de Pontos do Critério Brasil Adaptado e do Critério Brasil

Fonte: Os autores.

A pontuação do Grau de Instrução do Chefe do Domicílio para o Critério Brasil Adaptado se dá da mesma forma que para o Critério Brasil original: nenhum ponto para analfabetos ou com primário incompleto, 1 ponto para chefes com primário completo ou ginásial incompleto, 2 pontos para ginásial completo ou colegial incompleto, 3 pontos para colegial completo ou superior incompleto, e 5 pontos para superior completo. Dessa forma, a escala de pontos do Critério Brasil Adaptado aqui proposto pode variar de 0 (zero) a 29 (vinte e nove) pontos, diferentemente do Critério Brasil original, cuja escala varia de 0 a 34 pontos. Assim, pudemos calcular o Critério Brasil (adaptado) a partir dos dados do Censo Demográfico 2000 e, assim, obter um CBA médio por área de ponderação.

### 3.3. Dados de Consumo de Energia Elétrica Residencial da AES Eletropaulo

As grandes concessionárias de distribuição de energia elétrica, em especial a AES Eletropaulo, possuem um cadastro de seus clientes totalmente georreferenciado (FRANCISCO, 2002). A localização do medidor de energia elétrica que alimenta esses clientes é armazenada nos sistemas técnicos das distribuidoras, suportados, em geral, por tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica. Todos os clientes da concessionária estão, pois, localizados no espaço geográfico, associados a um dispositivo ou ativo elétrico (poste, transformador) e a um circuito alimentador.

As informações levantadas da AES Eletropaulo para cada cliente foram as seguintes: (i) Consumo (em kWh) em Agosto de 2000, e (ii) Consumo Médio mensal (em kWh) de Setembro de 1999 a Agosto de 2000. Caso o medidor de energia elétrica tenha passado a existir nos sistemas comerciais da AES Eletropaulo em data posterior a Setembro de 1999, foi considerado o consumo médio no intervalo do mês de sua incorporação até Agosto de 2000, inclusive.

O IBGE provê a descrição geográfica das áreas de ponderação. Assim, utilizando algoritmos de junção espacial, foi possível associar cada consumidor residencial de energia elétrica à área de ponderação que o continha e, dessa forma, computar o consumo médio de energia.

Assim, foi possível analisarmos conjuntamente as diversas modalidades de renda (média), o CBA (médio) e os dois indicadores de consumo de energia elétrica (médios) para cada área de ponderação do município de São Paulo.

### 3.4. Técnicas de Regressão Utilizadas

As técnicas geoestatísticas utilizadas foram: *Spatial Auto-Regression* (SAR) e *Geographically Weighted Regression* (GWR). São basicamente, técnicas exploratórias para análise de dados espaciais. A técnica SAR remonta aos anos 1950 e é tradicionalmente adotada em estatística espacial (DE SMITH, GOODCHILD & LONGLEY, 2007). Utiliza uma matriz de vizinhança ( $W$ ), associada ao próprio termo dependente  $y$  na estimação de  $y$ . Por isso, é denominada uma técnica auto-regressiva. As Equações 1 e 2 a seguir mostram como o termo auto-regressivo é incorporado, e a Figura 3 exemplifica a estrutura da matriz de vizinhança.

Equação 1. *Regressão Linear Multivariada*: 
$$y = \beta X + \varepsilon$$

Equação 2. *Regressão Linear Multivariada Espacial*: 
$$y = \rho W y + \beta X + \varepsilon$$

onde  $y$  é a variável dependente ;  $X$  é o vetor de variáveis independentes ;  $\beta$  é o vetor de coeficientes e  $\varepsilon$  é o erro da estimação (supostamente, normal).

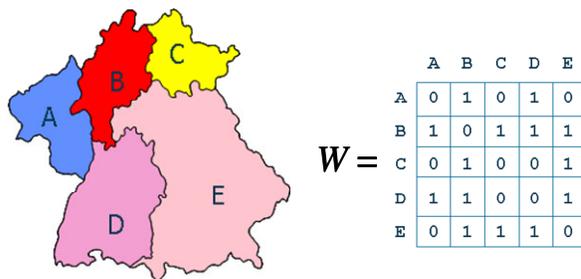


FIGURA 3. Exemplo de Matriz de Vizinhança

Fonte: Os autores.

A técnica GWR foi introduzida por Fotheringham, Charlton e Brunson (1997, 2002) para descrever uma família de modelos de regressão em que os coeficientes,  $\beta$ , podem variar espacialmente.

Em uma regressão linear tradicional, assumimos que a relação que está sendo modelada é estável em qualquer lugar da área estudada (isso vale inclusive para a técnica SAR). Em outras palavras, os parâmetros da regressão são iguais em todo o espaço estudado. A GWR, por sua vez, provê uma elegante maneira de modelar essa relação com variações locais dos coeficientes  $\beta$ , conforme apresentado na Equação 3.

Equação 3. *Geographically Weighted Regression*: 
$$y(g) = \beta(g)X + \varepsilon$$

onde  $y$  é a variável dependente ;  $X$  é o vetor de variáveis independentes ;  $\beta$  é o vetor de coeficientes,  $\varepsilon$  é o erro da estimação (supostamente, normal) e  $g$  é um ponto da amostra, localizado no espaço bidimensional (latitude, longitude).  $\beta(g)$  significa que o parâmetro está sendo estimado para a observação  $g$ , segundo uma amostra, local, específica para esse ponto.

Os coeficientes  $\beta(g)$  são determinados examinando-se um conjunto de pontos dentro de uma vizinhança definida para cada ponto  $g$  da amostra, utilizando um esquema de ponderação (*weighting scheme*), normalmente bi-quadrado ou gaussiano. A largura de banda que define essa vizinhança é um fator chave para esse modelo; ela pode ser definida manualmente ou através de um método adaptativo,

como a minimização do Akaike Information Criterion (AIC) (FOTHERINGHAM, CHARLTON & BRUNSDON, 2002; DE SMITH, GOODCHILD & LONGLEY, 2007).

Os modelos exploratórios analisados buscavam explicar a variabilidade de renda das áreas de ponderação e, pois, utilizou a Renda Familiar como variável dependente (y).

#### 4. ANÁLISES E RESULTADOS

Os consumidores residenciais da AES Eletropaulo em Agosto de 2000 totalizavam 3.037.992, e o total de domicílios levantados pelo Censo Demográfico 2000 era 3.039.104, o que denota que a associação é apropriada e apresenta apenas uma pequena diferença, inerente aos processos de coleta do censo e de faturamento da distribuidora.

A Figura 4 apresenta os mapas e os histogramas de distribuição das três variáveis. A alta similaridade entre eles já sugere uma alta correlação.

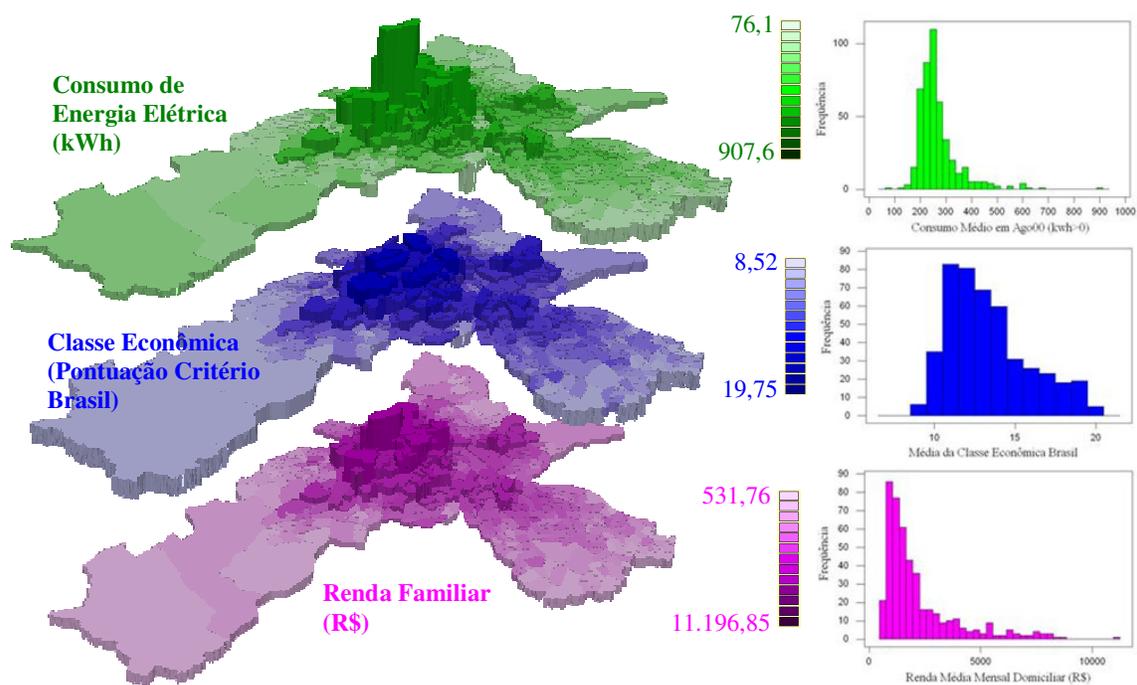


FIGURA 4. Mapas 3D (croquis) das 456 áreas de ponderação do município de São Paulo, representando; (verde) Renda Mensal Domiciliar Média, (azul) Critério Brasil Adaptado Médio, e (rosa) Consumo Médio Mensal Residencial de Energia Elétrica

Fonte: Os autores.

A distribuição da renda é concentrada nos níveis baixos e é assimétrica. As frequências maiores estão entre 4 e 10 salários mínimos. A distribuição do consumo de energia elétrica é praticamente normal, concentrando-se principalmente entre 100 e 220 kWh (48% da distribuição). A distribuição da pontuação do Critério Brasil Adaptado é assimétrica e concentra-se nos níveis menores; a maioria dos casos (73%) está entre 10 e 14 pontos.

A correlação (de Pearson) entre os construtos apresentou valores bastante altos. Ao nível de significância de 0,01, a correlação entre Renda Domiciliar e Consumo de Energia Elétrica foi de 0,932, e entre Consumo de Energia Elétrica e CBA foi de 0,856. Tais correlações entre as outras medidas de renda e de consumo mostraram valores muito próximos desses patamares. A Figura 4 apresenta esses resultados. A partir de então, foram aplicadas regressões da renda a partir do consumo de energia elétrica.

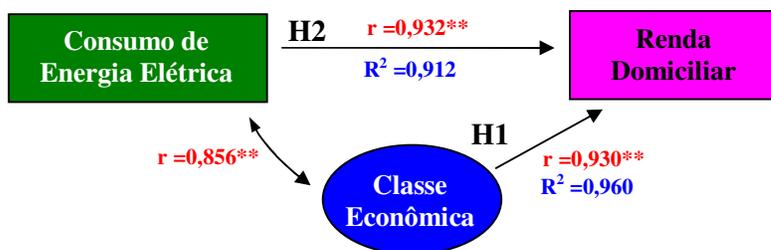


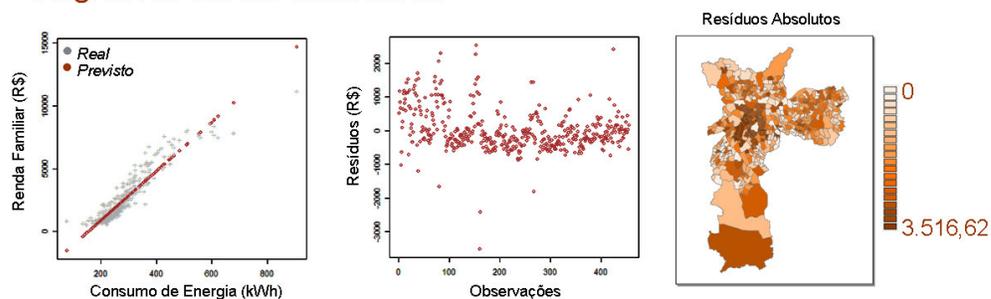
FIGURA 5. Correlação e Índice de Determinação entre as Variáveis Estudadas

Fonte: Os autores.

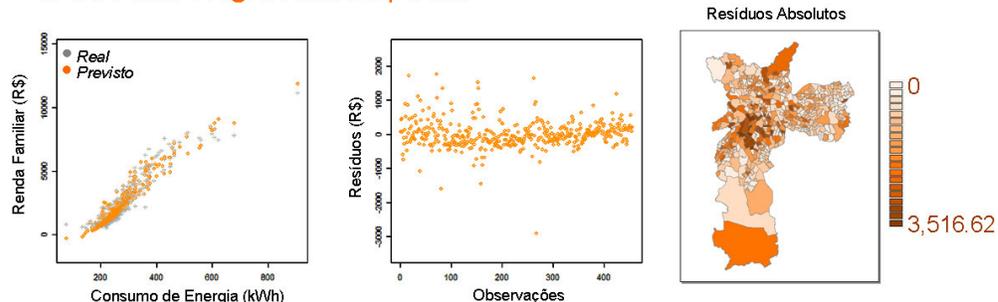
\*\* Correlação significativa ao nível de 0,01 (bicaudal).

A Figura 6 a seguir apresenta os resultados detalhados das técnicas de regressão aplicadas. Nota-se sensível melhoria nos resultados (diminuição da variabilidade dos resíduos, no gráfico central e no mapa à direita) quando as técnicas de geoestatística (SAR e GWR) são aplicadas.

### Regressão Linear Tradicional



### SAR: Auto-Regressão Espacial



### GWR: Geographically Weighted Regression

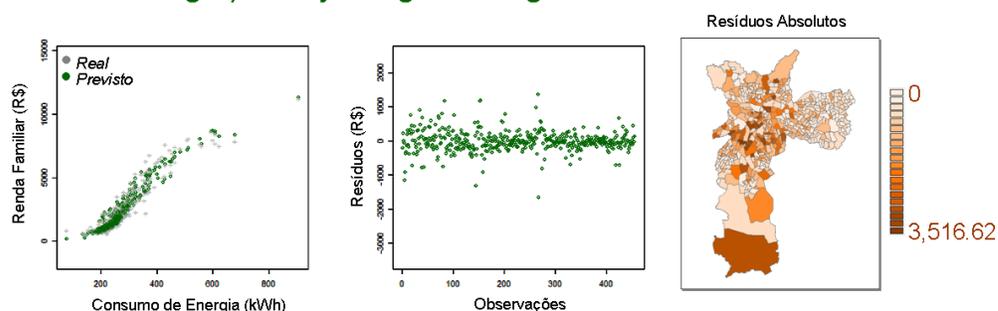


FIGURA 6. Gráficos Descritivos dos Resultados das Regressões da Renda Familiar a partir do Consumo de Energia Elétrica: (esq) Consumo de Energia versus Renda; (centro) Variabilidade dos Resíduos da Renda; (dir) Mapa dos Resíduos Absolutos

Fonte: Os autores.

Ambos os modelos são adequados e apresentam coeficiente de explicação  $R^2$  acima de 86%, com destaque especial para os modelos geoestatísticos ( $R^2$  acima de 94%), que representa o percentual de variabilidade que é explicado pelo modelo. Ambas as regressões são significantes, o que pode ser visto pelas estatísticas F e valor-P, e também seus coeficientes. Os gráficos de resíduos apresentam normalidade, mas sugere heterocedasticidade no caso da regressão tradicional, pelo fato da magnitude do erro tender a crescer com o crescimento da renda; a estrutura da relação é provavelmente mais complexa do que os modelos podem prever.

A Tabela 1 sumariza esses resultados e a Figura 7 mostra a variação do  $R^2$  local, específica para a GWR aplicada, que mostra que o consumo de energia elétrica como preditor de renda é mais eficiente quando aplicado na região central do município de São Paulo e na periferia da Zona Leste.

TABELA 1 – Comparação entre as Relações Encontradas e os Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) dos Modelos Preditivos de Renda a partir do Consumo de Energia Elétrica

Modelo de Regressão	Relação encontrada	$R^2$
Regressão Linear Tradicional	$\hat{y} = -3034.71 + 19.55 \cdot x$	86,80%
SAR – Spatial Auto-Regression	$\hat{y} = -2303.64 + 12.73 \cdot x + 0.499 W y$	94,49%
GWR – Geographically Weighted Regression	(ver Figura 7)	96,80%

Observação:  $x$  : Consumo de Energia Elétrica (kWh)  
 $y$  : Renda Familiar (R\$)



FIGURA 7. Distribuição do  $R^2$  Local das 456 áreas de ponderação do município de São Paulo para o Modelo Preditivo de Renda a partir do Consumo de Energia Elétrica aplicado pela técnica GWR  
 Fonte: Os autores.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa teve como principal objetivo examinar a relação entre Consumo de Energia Elétrica e Renda Familiar nos domicílios do município de São Paulo. Investigou-se a utilidade do consumo de energia elétrica como base para um indicador que possibilite a extensão e o refinamento do Critério de Classificação Econômica Brasil para estimar o poder de compra da população em geral.

Os achados deste estudo podem ser úteis para os profissionais de pesquisa de mercado e marketing lotados em empresas de consultoria ou em clientes finais (públicos e privados) que utilizam indicadores espacializados de concentração de renda ou classificação econômica para a definição ou revisão de planos amostrais de suas pesquisas próprias e para suporte a decisões de caráter estratégico e tático. Os resultados sugerem a ampla adoção, pelo mercado, do uso de indicadores elétricos territoriais como substitutos a indicadores territoriais de renda.

Tal adoção deve ser, pois, precedida de uma ampla oferta desses indicadores pelas empresas de distribuição de energia elétrica. As distribuidoras deveriam ampliar seu portfólio de negócios não regulados incorporando o fornecimento sistemático de indicadores elétricos por unidades territoriais usuais do mercado (setores censitários, áreas de ponderação, distritos, municípios), ou expandir seu know-how com a inclusão de atividades de consultoria na geração de estudos *ad-hoc* sob medida para

empresas solicitantes; visando apoiá-las em atividades de expansão de suas redes de lojas, aquisição de clientes de perfis pré-definidos, redesenho de áreas de cobertura de vendas e distribuição, ou identificação de áreas carentes para o estabelecimento de políticas públicas mais efetivas.

O mercado, de maneira geral, utiliza pesquisas primárias para a confirmação, refinamento ou atualização das informações censitárias, talvez por desconhecimento da existência do potencial modelo de negócios vislumbrado anteriormente. As informações censitárias em geral são adquiridas a baixíssimo custo, enquanto que a contratação de pesquisas primárias apresenta custo relativo muitíssimo maior. O uso de indicadores elétricos representaria baixo custo adicional para as distribuidoras de energia, uma vez que a coleta das informações é realizada para as atividades de faturamento dos clientes, dentro do ciclo de gestão comercial das empresas; além disso, restaria o custo do estabelecimento da sistemática de geração dos indicadores agregados, de baixa complexidade com o uso de ferramentas de geoprocessamento.

Com isso, o preço de mercado dos indicadores de consumo de energia elétrica poderia ser atraente, tornando-os disponíveis. Estes, atualizados mensalmente, poderiam diminuir o uso de pesquisas quantitativas para análise da evolução das variáveis de interesse e representar, assim, uma alternativa viável para um mercado cada vez mais exigente e carente de informações secundárias detalhadas e temporalmente menos esparsas. A Figura 8 ilustra possibilidades de uso desses indicadores de maneira ampla.

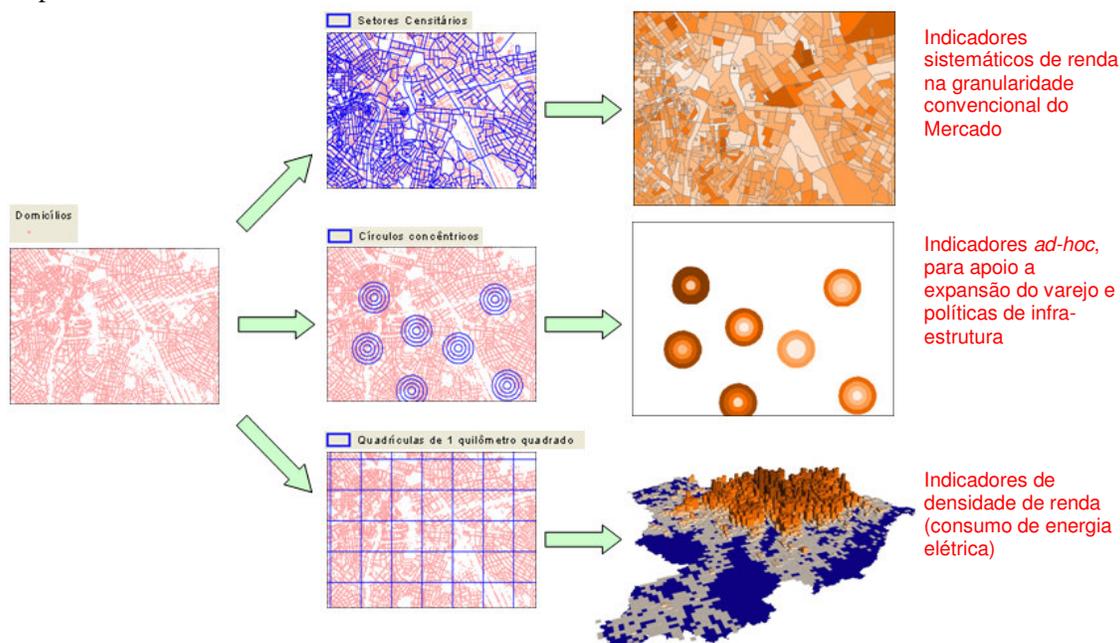


FIGURA 8. Potenciais de Utilização de Indicadores de Renda a partir do Consumo de Energia

Fonte: Os autores.

Além disso, as próprias empresas de distribuição de energia elétrica deveriam fazer melhor uso de sua riqueza de informações para finalidades diferentes das tradicionais de sua gestão operacional. Áreas como a de planejamento de mercado e de carga poderiam utilizar indicadores de concentração de consumo para especializar as classes de previsão, muitas vezes limitadas às tradicionais classes de consumidores (residenciais, comerciais, industriais e outros).

Uma limitação deste estudo, e conseqüente recomendação para estudos futuros, é a validação com bases de dados mais atuais das conclusões obtidas na investigação territorial. Os dados utilizados referem-se a 2000, que é o levantamento brasileiro mais atual e abrangente na granularidade utilizada neste estudo (área de ponderação).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. Critério de Classificação Econômica Brasil. São Paulo, Brasil: Author. Acesso 22 dez. 2004, em <http://www.anep.org.br>. 2004.
- ACHÃO, C. C. L. Análise da Estrutura de Consumo de Energia pelo Setor Residencial Brasileiro. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2003.
- AES ELETROPAULO. Relatório Comercial 2004. São Paulo, Brasil: Author. 2005.
- BITTENCOURT, N. Uso de Bancos de Dados Oficiais. Trabalho apresentado na Primeira Escola de Inverno da FGV-EAESP. São Paulo, Brasil. 2005.
- BÔA NOVA, A.C. Energia e Classes Sociais no Brasil. São Paulo, Brasil: Loyola. 1985.
- BUSSAB, W.O., & FERREIRA, M. Critério Brasil de Estratificação Socioeconômica: Aspectos Demográficos. Anais do CLADEA, San Juan, Porto Rico, 34. 1999.
- DE SMITH, M.J., GOODCHILD, M. F. & LONGLEY, P. Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools, Matador: Leicester, United Kingdom, 2007.
- FOTHERINGHAM, A.S., BRUNSDON, C. & CHARLTON, M. Geographically Weighted regression: the analysis of spatially varying relationships, Wiley: Hoboken, New Jersey, 2002.
- ELETROBRÁS. Mercado brasileiro de energia - relatório analítico ciclo 2000. Brasília, Brasil: Author. 2001.
- FRANCISCO, E.R. Customer Franchise: A Mina de Ouro do Geomarketing. InfoGEO, 25, ago., 56-57. 2002.
- FRANCISCO, E.R. Relação entre o Consumo de Energia Elétrica, a Renda e a Caracterização Econômica de Famílias de Baixa Renda do Município de São Paulo. Tese de Mestrado, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, Brasil, 2006.
- GUERREIRO, A.G., SERRA, S.T., CARVALHO, M.L.R. & SILVA FILHO, M.C. A influência da Venda de Eletrodomésticos na Expansão do Consumo Residencial de Energia Elétrica. Anais do Congresso Brasileiro de Energia – CBE, Rio de Janeiro, Brasil, 7, 22-33. 1996.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2000. Documentação dos Microdados da Amostra. Rio de Janeiro, Brasil: Author. 2002.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNAD - Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios: Síntese de Indicadores 2003. Rio de Janeiro, Brasil: Author. 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares, 2002-2003. Primeiros Resultados. Rio de Janeiro, Brasil: Author. 2004.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Síntese de Indicadores 2004. Rio de Janeiro, Brasil: Author. 2005.
- JANNUZZI, G.D.M., & SCHIPPER, L. The structure of electricity demand in the Brazilian Household Sector. Energy Policy, 19(19), Nov., 879-891. 1991.
- LEITE, A.D.A. Energia Do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil: Nova Fronteira. 1997.
- LINS, M.P.E., & ANDRADE, C.S. Análise do Consumo de Energia Residencial no Estado do Rio de Janeiro. Anais do Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Campinas, Brasil, 1, v. 3. 1989.
- MADUREIRA, R.G. Análise dos Aspectos Socioeconômicos, Históricos e Culturais determinantes do Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro. Anais do Congresso Brasileiro de Energia – CBE, Rio de Janeiro, Brasil, 7, 225-239. 1996.
- MATTAR, F.N. Porque os Métodos de Classificação Socioeconômicos utilizados no Brasil não funcionam. Anais eletrônicos do ENANPAD, São Paulo, Brasil, 20. Acesso 13 jun. 2005, em <http://fauze.com.br>. 1996.
- POMPERMAYER, M.L., & CHARNET, R. Determinantes da Demanda Residencial de Energia Elétrica. Anais do Congresso Brasileiro de Energia – CBE, Rio de Janeiro, Brasil, 7, 102-115. 1996.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. (2005). Balanço Energético do Estado de São Paulo 2005. Ano Base 2004. São Paulo, Brasil: Author. Acesso 03 nov. 2005, em <http://www.energia.sp.gov.br>. 2005.
- SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Pesquisa de Condições de Vida: Apresentação da Base das Variáveis do Questionário e dos Indicadores Gerados. São Paulo, Brasil: Author. 2005.
- SILVA, N.L. Critério Brasil: o mercado falando a mesma língua. Acesso 22 dez. 2004, em <http://www.anep.org.br>. 2004.