



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ECONOMIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

PRISCILA LEITE CARNEIRO

ECONOMIAS DE DENSIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS ÁREAS
URBANAS DO ESTADO DA BAHIA

SALVADOR
2014

PRISCILA LEITE CARNEIRO

**ECONOMIAS DE DENSIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS ÁREAS
URBANAS DO ESTADO DA BAHIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Bahia como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Área de concentração: Economias urbanas e de energia

Orientador: Prof. Dr. Gervásio Ferreira dos Santos

SALVADOR

2014

C280 Carneiro, Priscila Leite

Economias de densidade e eficiência energética nas áreas urbanas do Estado da Bahia/ Priscila Leite Carneiro. – Salvador, 2014.

60f.; Il.

TCC (Graduação) – Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Economia. Orientador: Prof. Dr. Gervásio Ferreira dos Santos.

1. Bahia – eficiência energética. 2. Economia urbana. 3. Energia – consumo. I. Universidade Federal da Bahia. II. Santos, Gervásio Ferreira dos. III. Título.

CDD:333.814 2

PRISCILA LEITE CARNEIRO

**ECONOMIAS DE DENSIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS ÁREAS
URBANAS DO ESTADO DA BAHIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Econômicas.

Aprovada em 22 de dezembro de 2014

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gervásio Ferreira dos Santos
(Universidade Federal da Bahia – UFBA)

Prof. Dra. Gisele Ferreira Tiriaky
(Universidade Federal da Bahia – UFBA)

Prof. Jamilly dias dos Santos
(Universidade Federal da Bahia – UFBA)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que fizeram parte da minha trajetória acadêmica de forma direta e indireta. Não foi simples terminar a graduação, diria até que muito mais complexo do que eu podia imaginar. Sozinha, certamente teria desistido.

Agradeço a toda minha família pelo incentivo e motivação, em especial a minha irmã Laila, que mesmo quando eu não acreditei que seria possível ela mostrou que sim. Além de ser minha corretora, e ter lido meu trabalho algumas vezes me mostrando como poderia melhorar, e até aos elogios singelos que em muitos momentos me mostraram que eu estava no caminho certo.

Agradeço a todos os colegas que fiz na época da faculdade, mas principalmente àqueles que se tornaram amigos para a vida toda e que fizeram dos dias de estudos mais leves e felizes: João, Felipe, Bruna, Isabela e Lucas.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos os meus professores que da melhor maneira possível me ensinaram aquilo que sabem sobre economia, sobre o mercado e sobre a vida. Especialmente a Gervásio, meu orientador, sem o qual não teria o principal motivo para agradecer: a finalização desse estudo e de mais uma etapa da minha vida.

RESUMO

O desenvolvimento da sociedade está relacionado com a evolução dos núcleos urbanos. A concentração populacional desencadeia o aumento do consumo de bens, serviços e recursos naturais, inclusive o de energia. É sabido que a estrutura urbana gera impactos diretos no consumo de energia nos setores de transporte, comercial, público e residencial. A causalidade entre estrutura urbana e consumo de energia é um tema recente na literatura, mas já possui fundamentos teóricos sólidos provenientes da área de economia urbana. Considerando a heterogeneidade espacial do desenvolvimento econômico no estado da Bahia, coloca-se o seguinte problema de pesquisa: Quais são as regiões de maior concentração de eficiência energética em áreas urbanas no estado da Bahia? Para responder a esta pergunta, fez-se uma contextualização sobre a formação dos centros urbanos brasileiros e seus efeitos sobre o consumo de energia, analisando-se como a estrutura da cidade interfere no consumo de energia residencial. Em seguida, foram avaliados os dados de consumo de energia elétrica urbana e residencial dos municípios da Bahia, através da metodologia de análise exploratória de dados espaciais, a fim de verificar se havia relação direta entre a densidade urbana e o nível de eficiência energética e se havia autocorrelação espacial entre as variáveis de intensidade e eficiência energética, urbana e residencial. Os resultados encontrados indicam que a alta densidade urbana não reflete diretamente na alta eficiência energética. Além disso, concluiu-se que apesar de existir autocorrelação espacial positiva entre as variáveis de intensidade energética e eficiência energética, este índice não é muito representativo.

Palavras-chave: Eficiência energética. Energia elétrica. Estrutura urbana. Densidade urbana.

ABSTRACT

The development of society is related to the evolution of urban areas. The population density triggers the increased consumption of goods, services and natural resources, including energy. It is known that the urban structure generates direct impact on energy consumption in the transport, commercial, public and residential. The causality between urban structure and energy consumption is a recent theme in the literature, but already has solid theoretical foundations from the urban economy area. Considering the spatial heterogeneity of economic development in the state of Bahia, Put the following research problem: Which are the regions with the highest concentration of energy efficiency in urban areas in the state of Bahia? To answer this question, there was a background on the formation of Brazilian urban centers and their effects on energy consumption by analyzing how the structure of the city interferes with the residential energy consumption. Then, the data of urban and residential electricity consumption of Bahia cities were evaluated through the methodology of exploratory spatial data analysis in order to verify: i) if there was a direct relationship between urban density and the level of energy efficiency; and ii) if there was spatial correlation between the intensity variables and urban and residential energy efficiency. The results indicate that high urban density does not reflect directly in high energy efficiency. In addition, it was concluded that, although there is positive spatial correlation between energy intensity and energy efficiency, the value is not very representative.

Keywords: Energy efficiency. Electricity. Urban structure. Urban density.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Grau de urbanização segundo as regiões 1940-2010	15
Gráfico 2- Economia de energia elétrica em relação ao consumo total e residencial no Brasil devido ao Eletrobras Procel	21
Gráfico 3- Oferta Mundial de Energia por Fonte- 2010	22
Gráfico 4- Oferta Interna de Energia por Fonte- 2010	22
Gráfico 5 - Consumo energético por fonte no Brasil: 2001 - 2010	24
Gráfico 06- Consumo de energia elétrica residencial e número de domicílios com energia elétrica, 2001-2013	24
Gráfico 07 - Taxa de Urbanização Brasil-Nordeste-Bahia (1991/2010)	25
Gráfico 08- Consumo de energia elétrica na Bahia 1990-2010	26
Gráfico 09- Consumo de energia per capita e densidade populacional urbana por UFs: 2010	29
Figura 10 - Causalidade entre estrutura urbana e consumo residencial de energia	30
Figura 11 - Convenção Rainha de contiguidade	36
Figura 12 - Convenção Torre de contiguidade	37
Figura 13 – Diagrama de dispersão de Moran	38
Quadro 14 – Relação das variáveis de análise e fonte dos dados	41
Figura 15 – Mapas de Densidade Urbana e PIB <i>Per capita</i>	43
Figura 16 – Mapas de Intensidade Energética	44
Figura 17- Mapas de eficiência energética	45
Figura 18- Autocorrelação espacial global para Densidade Urbana e PIB <i>per capita</i>	47
Figura 19- Autocorrelação espacial global para Intensidade Energética	48
Figura 20- Autocorrelação espacial global para Eficiência Energética	48
Figura 21- Mapa de <i>cluster</i> LISA: Densidade urbana e PIB <i>per capita</i>	49
Figura 22- Mapa de <i>cluster</i> LISA: Eficiência Energética Urbana e Residencial	50
Figura 23- Mapa de <i>cluster</i> LISA: Intensidade Energética Urbana e Residencial	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índice de Autocorrelação Global

46

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
CONDER	Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Nacional de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MME	Ministério de Minas e Energia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDEs	Planos Decenais de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
UF	Unidade da Federação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	DENSIDADE URBANA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	12
2.1	ENERGIA E ESTRUTURA URBANA	12
2.2	MUDANÇA NA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA BRASILEIRA	14
2.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	16
2.4	PROGRAMAS E LEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	18
2.5	ESTRUTURA DE OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL	21
2.6	URBANIZAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA NO ESTADO DA BAHIA	25
3	ESTRUTURA URBANA E CONSUMO DE ENERGIA	28
3.1	CIDADES E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	28
3.2	CAUSALIDADES ENTRE CONSUMO ENERGÉTICO E ESTRUTURA URBANA	30
3.3	ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE O USO DE ENERGIA RESIDENCIAL	33
4	METODOLOGIA E DADOS	35
4.1	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS	35
4.2	DEPENDÊNCIA ESPACIAL E MATRIZ DE PESOS ESPACIAIS	35
4.3	AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL (I DE MORAN)	37
4.4	AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL (LISA)	39
4.5	BASE DE DADOS	40
5	EFICIÊNCIA E INTENSIDADE ENERGÉTICA URBANA NO ESTADO DA BAHIA	43
5.1	ANÁLISE DOS DADOS ESPACIALIZADOS	43
5.2	ÍNDICE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL (I DE MORAN)	47
5.3	AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL (INDICADOR LISA)	50
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade e o progresso científico estão intimamente conectados à evolução dos núcleos urbanos e do domínio das técnicas de aproveitamento dos recursos da natureza. A concentração populacional desencadeia o aumento do consumo de bens, serviços e recursos naturais, inclusive o de energia. O consumo de energia, em especial, tem sido alvo de preocupação por parte de diversos setores da sociedade, chamando as ciências, inclusive a Economia, a avaliarem os fatores que influenciam este consumo e como torna-lo mais eficiente.

Nesse sentido, é sabido que a estrutura urbana gera impactos diretos no consumo de energia nos setores de transporte, comercial, público e residencial. Considerando que o uso de energia em transporte já vem sendo estudado extensivamente, e os setores comerciais e público não tem grande expressão no consumo total de energia urbana, o presente trabalho busca explorar a relação existente entre a estrutura urbana e o consumo de energia residencial, com foco especial na análise de fatores relacionados à eficiência energética. Como se trata de uma nova área de investigação, são poucos os trabalhos desenvolvidos até o momento. Desta forma, o presente estudo visa contribuir com a produção de conhecimento nesta área, diminuindo a lacuna da produção científica sobre esta temática.

O crescimento da estrutura urbana nos últimos anos foi acompanhado pelo aumento do consumo de energia elétrica urbana (comercial, residencial e público). Diante disso, é importante observar se sempre há uma relação entre o grau de urbanização e o consumo de energia. Considerando que os estudos realizados apontam uma tendência crescente e direta entre urbanização e consumo de energia, o problema de pesquisa a ser investigado é: quais são as regiões de maior concentração de eficiência energética em áreas urbanas no estado da Bahia? Para responder a essa pergunta algumas hipóteses sobre causa e efeito são levantadas. A alta densidade urbana e cidades compactas permitem que haja uma redução nas instalações, reduzindo a perda de energia elétrica pela transmissão e distribuição. Por outro lado, essas mesmas causas, alta densidade e cidades compactas, geram efeitos de formação da ilha de calor urbano que aumentam a temperatura local e a necessidade da utilização de ar condicionado, aumentando, conseqüentemente, o consumo energético, e reduzindo a eficiência.

Levando-se em conta estimativas realizadas a partir do BEU (Balanço de Energia Útil), identifica-se que a grande parcela do potencial técnico de eficiência energética no Brasil encontra-se nos setores residencial, industrial e de transportes, que representaram juntos mais de 80% do consumo final energético do país em 2011. Partindo desse fato, esses setores são naturalmente elegíveis para uma abordagem mais detalhada da eficiência energética implícita na projeção da demanda de energia para o horizonte dos próximos 10 anos (EPE, 2012).

Foi feita uma ligação entre a teoria de eficiência energética nas cidades e os dados de consumo de energia elétrica do estado da Bahia. Para realização do estudo empírico, foi utilizada a econometria espacial, através da análise exploratória de dados espaciais (AEDE), que é uma coleção de técnicas para a análise estatística de informação geográfica, com o intuito de descobrir padrões espaciais nos dados e para sugerir hipóteses, mas impondo a menor estrutura possível. A AEDE procura descrever distribuições espaciais, identificar observações discrepantes no espaço, descobrir padrões de associação espacial e sugerir *clusters* espaciais. Assim, o objetivo primordial desta técnica é deixar os dados espaciais falarem por eles próprios.

O presente trabalho está assim dividido: o primeiro capítulo introduz o assunto que será abordado nesta monografia, eficiência energética nas áreas urbanas. A segunda seção contextualiza o leitor sobre o assunto que será desenvolvido, historiando sobre a formação dos centros urbanos brasileiros e seus efeitos sobre o consumo de energia. Nesse mesmo capítulo é tratada também a questão da eficiência energética. No capítulo 3, é feita uma explanação sobre os estudos teóricos desenvolvidos até o momento sobre eficiência energética nos centros urbanos, e como a estrutura da cidade interfere no consumo de energia residencial. O capítulo seguinte aborda a metodologia utilizada no trabalho que refere-se a análise exploratória de dados espaciais, e o I de Moran. Por fim, no capítulo 5 são abordados os resultados do estudo e no capítulo 6 são feitas as considerações finais.

2 DENSIDADE URBANA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O presente capítulo introduz o assunto do uso da energia em estruturas urbanas. Inicialmente é abordada a questão da formação e aumento dos aglomerados urbanos e seus impactos no consumo de energia. Considerando que a formação das cidades brasileiras pouco contou com o planejamento urbano nas seções 2.3 e 2.4 são tratadas questões de eficiência energética e o marco regulatório, leis e programas do governo. O capítulo continua com explanação sobre o consumo de energia no país, indicando as fontes de oferta de energia e como elas são consumidas. Por fim, apresenta-se a realidade da Bahia, com alguns índices de urbanização e a tendência de consumo de energia no estado.

2.1 ENERGIA E ESTRUTURA URBANA

O desenvolvimento da sociedade e do progresso científico está intimamente conectado à evolução dos núcleos urbanos e do domínio das técnicas de aproveitamento dos recursos da natureza para uso individual e coletivo. Segundo Santos (2009), o modo de produção capitalista, em especial, contribui para a dinâmica da urbanização que marca o período moderno da sociedade. Essas transformações se evidenciam a partir da apropriação da natureza e sua conversão em mercadoria, sendo estes “os indícios de que a sociedade e a natureza foram (re)configuradas e (des)configuradas em sincronia com a veicidade do processo de reprodução do capital.” (SANTOS, 2009, p.499)

Cerca de 50% da população mundial reside em cidades, e o território ocupado por áreas urbanas tem crescido substancialmente (SALAT, 2009). A urbanização é, portanto, classificada como um dos fatores que causam maior pressão sobre o meio ambiente, já que contribui para a diminuição de áreas verdes e reservas ecológicas. O crescimento da urbanização gera pressões sobre o ambiente natural, tais como a exploração de recursos energéticos, a extração de materiais, a alteração e/ou destruição de sistemas naturais para a captação de água, produção de alimentos e disposição de lixo. Considerando a tendência mundial de urbanização, torna-se cada vez mais importante o planejamento urbano afim de amenizar os impactos socioambientais recorrentes em cidades cujo crescimento aconteceu de forma rápida e sem planejamento.

Neste sentido, a concentração populacional desencadeia o aumento do consumo de bens, serviços e recursos naturais, inclusive o de energia. Conforme abordado por Marins (2010), o uso indiscriminado da energia passa a requerer, progressivamente, a instalação de novas usinas e, assim, mais recursos são consumidos na geração energética, ocasionando novos impactos. O sistema urbano apresenta-se, portanto, desbalanceado e pouco eficiente. Logo as decisões quanto ao planejamento da área urbana como um todo afetam seu desempenho energético e ambiental.

Os efeitos da densidade urbana na demanda total de energia de uma cidade são complexos e contraditórios. No seu artigo, cujo objetivo é examinar e discutir estratégias para o desenvolvimento de projetos com baixo custo de energia em cidades densamente povoadas, Hui (2001) traz uma análise que demonstra os efeitos positivos e negativos da alta densidade urbana. A infraestrutura aparece como um ponto positivo, já que é possível, num espaço menor, acomodar um maior número de habitantes, encurtando o comprimento das instalações e reduzindo a energia para bombeamento do abastecimento de água e esgoto, por exemplo. Por outro lado, essa grande concentração tende a criar uma ilha de calor urbano, aumentando a necessidade da utilização de aparelhos para resfriamento dos ambientes.

O aumento da temperatura local gerado pelas ilhas de calor urbano pode ser amenizado adotando-se medidas para regulamentar a disposição dos prédios e a limitação do número de andares não impedindo a ventilação da área. “Com a utilização desses artificios no planejamento urbano pode-se tirar proveito dos recursos naturais para melhorar as condições térmicas e luminosas dos edifícios. Com essas medidas, reduz-se a necessidade de sistemas de ativos, conseqüentemente obtêm-se uma diminuição do uso de energia” (LOURA; ASSIS, 2004, p. 7). A lei de uso do solo dos municípios tem papel fundamental para conservar a circulação do ar, além de garantir razoabilidade paisagística, evitando sombreamento em orlas marítimas, por exemplo. Desse modo, a política pública pode ter sérias implicações sobre a densidade e a eficiência energética em áreas urbanas.

Além da infraestrutura, é possível ter ganhos em eficiência energética no transporte. Em locais com alta densidade urbana, existe uma tendência em promover o transporte público e, assim, reduzir a necessidade de carros particulares, evitando grandes congestionamentos e perda da eficiência do combustível do veículo. Com isso, conclui-se que o planejamento

urbano dos sistemas de transporte pode trazer benefícios para a alta densidade urbana, reduzindo os impactos ambientais e aumentando a eficiência dos recursos naturais.

Os órgãos mundiais responsáveis pelo consumo e pela produção de energia vêm investindo esforços na busca pelo aumento de eficiência energética em edifícios comerciais, habitações, transporte, sistemas de energia e indústrias. A maior parte desses esforços está concentrada nas áreas urbanas, as quais, em 2001, foram responsáveis por aproximadamente 75% de todo o consumo energético da humanidade, segundo Hui (2001). No Brasil, segundo dados do IBGE mais de 84% da população vive em áreas urbanas, enquanto que a média mundial é 50%. Esse fato deve estimular ainda mais a compreensão dos gastos energéticos para que possam ser adotadas medidas visando um uso mais racional e eficiente da energia.

2.2 MUDANÇA NA ESTRUTURA DEMOGRÁFICA BRASILEIRA

No Brasil, como em outras partes do mundo, a hegemonia do capitalismo incidiu direta e visivelmente nas cidades, alterando sua rotina e sua estrutura urbana no início do século XX. O fortalecimento do papel que as cidades passaram a desempenhar na organização da sociedade, da produção e do espaço foi, sem dúvida, a maior expressão desse contexto histórico. Entretanto, foi a partir da década de 1950 que o território brasileiro passou por mudanças realmente profundas em sua urbanização que, por sua vez, influenciaram na estruturação das cidades, sobretudo das metrópoles. Esse processo foi desencadeado, principalmente, pela instauração de uma nova conjuntura política, econômica e social, com consequências no desenvolvimento econômico do país.

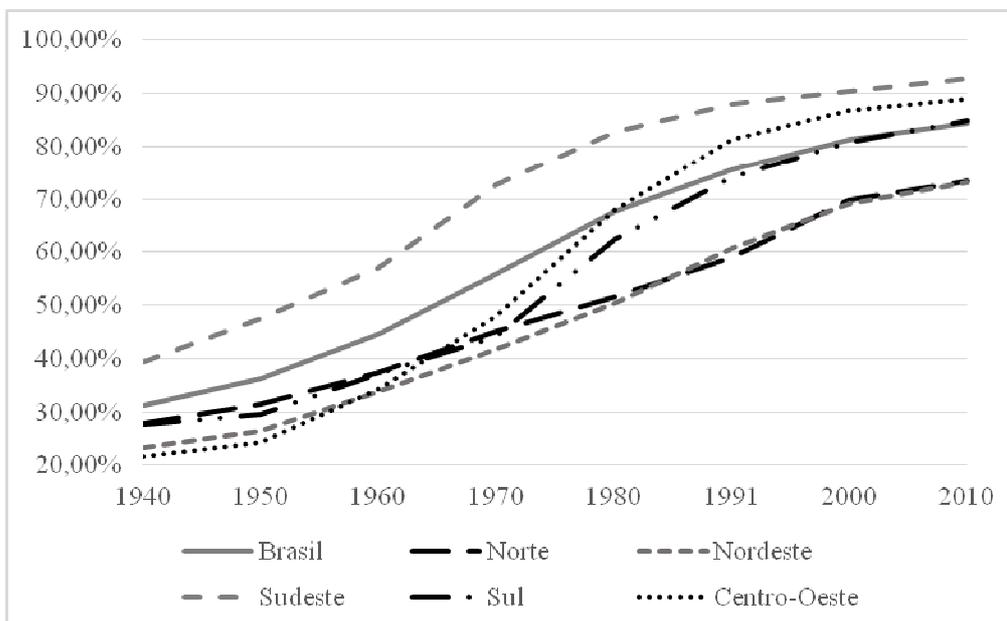
Segundo dados do IBGE, em 1940, o contingente de população urbana no Brasil correspondia a 12,8 milhões de habitantes e, em 2000, atingiu 137,9 milhões. O acréscimo de 125,1 milhões de habitantes urbanos resultou no aumento do grau de urbanização, que passou de 31,3%, em 1940, para 81,2%, em 2000. A incorporação de áreas que, em censos anteriores, eram classificadas como rurais, o crescimento vegetativo nas áreas urbanas e a migração no sentido rural-urbano, das regiões agrícolas para os centros industriais, estão entre as causas atribuídas ao incremento ocorrido no período. Em 1940, nenhuma das regiões brasileiras tinha atingido 50% no nível de urbanização, sendo que a Região Sudeste, que possuía 40% de sua população em áreas urbanas, detinha 46,6% do total da população urbana no País, enquanto as

demais regiões tinham níveis de urbanização entre 23% e 28%. O rápido aumento da urbanização, desde então, tem gerado um conjunto de influências nos sistemas urbanos.

A partir da década 50, a implantação da base industrial fez com que o Brasil deixasse de ser um país rural e agrícola, resultando em um crescimento desordenado dos núcleos urbanos. A meta do governo vigente da época para desenvolver o país ficou conhecida como “cinquenta anos em cinco”. Para viabilizar esse crescimento em pouco tempo houve um grande aumento no consumo de combustíveis fósseis e seus derivados e uma expansão acelerada da indústria da produção de eletricidade (ELETROBRAS, 2014). Ainda ao final da década de 50, segundo o IBGE, o Brasil apresentava uma preponderância rural, quando a população urbana respondia por 45% do total. Hoje essa população urbana quase dobrou, segundo o censo de 2010: as cidades abrigam mais de 84% dos brasileiros, ao passo que os problemas de ordenamento e infraestrutura ainda persistem.

De acordo com o gráfico 01, percebe-se a tendência de crescimento contínuo da população urbana em todas as regiões do país. As cidades brasileiras têm crescido, nas últimas décadas, em números, população e complexidade. Diante disso, há intenção do governo brasileiro de retomar os trabalhos de planejamento energético para permitir uma maior eficiência energética na escala urbana. Para isso, faz-se necessário o entendimento da estrutura energética brasileira, das fontes de oferta e demanda, para intervenções mais eficazes.

Gráfico 1 – Grau de urbanização segundo as regiões 1940-2010



Fonte: IBGE

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo o estudo do Conselho Americano para uma Economia de Energia Eficiente (Aceee) realizado em 2014, o Brasil ocupa a 15ª posição do ranking que avaliou a eficiência energética das 16 economias mais importantes do mundo: Austrália, Brasil, Canadá, China, França, Alemanha, Índia, Itália, Japão, México, Rússia, Coreia do Sul, Espanha, Reino Unido, Estados Unidos e União Europeia. Estas 16 economias representam mais de 81% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial e 71% do consumo global de energia. Rachel Young (2014), analista e principal autora do relatório da Aceee, afirma que os países que utilizam a energia de forma mais eficiente usam menos recursos para alcançar os mesmos objetivos, reduzindo custos, preservando os recursos naturais valiosos, e com isso, ganham uma vantagem competitiva em relação a outros países.

Desde a década de 80, o Brasil vem apoiando ações de melhoria no uso final de energia elétrica. As medidas iniciaram de forma embrionária e inconstante, mas foram importantes para alcançar progressos e estabelecer uma consciência política que estimulou importantes iniciativas de cunho regulatório e legislativo nos anos mais recentes. A partir de então, foram desenvolvidos programas que visam desde a conscientização do usuário final da energia até a obrigatoriedade de fabricação de bens com um nível máximo de consumo de energia. Foram formuladas algumas leis, a exemplo das leis nº 10.295/2001 e 12.111/2009, para orientar concessionárias de energia e fabricantes, tanto para a destinação de recurso para pesquisa e desenvolvimento, quanto para o desenvolvimento de produtos eficientes.

Os programas e leis desenvolvidos para estimular a eficiência energética no Brasil, resultou na conquista de apenas 4 pontos dos 25 possíveis no item “Esforço nacionais” do relatório do Conselho Americano para uma Economia de Energia Eficiente (Aceee). Foram avaliados esforços para criação de legislações ou políticas nacionais que estimulem o uso mais racional de energia. Com esse resultado, percebe-se que as iniciativas governamentais ainda são muito incipientes, principalmente quando comparadas com outras nações. Mesmo possuindo uma das tarifas mais caras de energia e fontes abundantes e renováveis, como as hidrelétricas, o Brasil não aproveita a energia que tem de forma eficiente.

A eficiência pode ser atribuída a toda e qualquer atividade ou ação em que é possível, através de fatores endógenos ou exógenos, melhorar o seu desempenho. Representa a relação dos

ganhos obtidos quando uma quantidade menor de recursos é empregada para determinado fim. Dessa forma, por **eficiência energética** entende-se a obtenção do melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia. A modernização de equipamentos e processos no sentido de reduzirem consumo e programas voltados para o consumo consciente também contribuem para a eficiência energética (COELBA, 2014).

A relevância da eficiência energética reflete tanto no setor de energia como no setor econômico, no meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas. A adesão às condutas de eficiência energética permite ganhos para as distribuidoras de energia, fabricantes, consumidores e a sociedade como um todo. Ao produzir bens e equipamentos eficientes, os fabricantes ganham competitividade e se diferenciam dos concorrentes; os consumidores ao comprarem tais produtos percebem uma redução na conta de energia; a sociedade se beneficia pela segurança do abastecimento energético e pela preservação do meio-ambiente. A melhor utilização da energia, seja desde a produção com escolha das fontes menos poluentes, até o consumo final de forma mais consciente, gera benefício para toda a cadeia participante.

Dentre os benefícios do uso eficiente da energia, Jannuzzi (2001) elenca quatro, cujos reflexos se dão para toda a sociedade (i) A eficiência energética contribuiu para aumentar a confiabilidade do sistema elétrico; (ii) reduz ou posterga as necessidades de investimentos em geração, transmissão e distribuição; (iii) reduz impactos ambientais (locais e globais) especialmente relacionados com a produção de eletricidade; (iv) reduz custos de energia para o consumidor final (JANNUZZI, 2001). Esses benefícios podem ser melhores obtidos se houver regulação e acompanhamento. Assim, as leis e os programas nacionais são fundamentais para orientação dos fornecedores e consumidores para uma melhor utilização dos recursos energéticos.

Na análise da eficiência energética na economia como um todo, é comum utilizar o conceito de intensidade energética. A **intensidade energética** é um indicador de eficiência energética que traduz a incidência do consumo de energia final sobre o PIB (Produto Interno Bruto). Quanto menor for a intensidade energética, maior é a eficiência energética de uma economia. A intensidade energética é influenciada diretamente por variações no consumo energético, da produção, de mudanças tecnológicas e estruturais. Além de variações econômicas, políticas e de preços relativos, que alteram a utilização dos recursos energéticos e a relação do consumo sobre a produção. (BARTOLO, 2008). Diante desses conceitos, é importante analisar, na

próxima seção, as políticas e programas mais recentes de aumento de eficiência energética no Brasil.

2.4 PROGRAMAS E LEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Atualmente, podem-se destacar quatro grandes programas relacionados à eficiência energética, no Brasil: (i) o Programa de Eficiência Energética (PEE), regulado e fiscalizados pela ANEEL; (ii) o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro; (iii) o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), coordenado pela Eletrobrás; (iv) o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás (Conpet), coordenado pela Petrobras. A seguir explora-se a particularidade de cada um deles, ressaltando alguns resultados que esses programas estão gerando para o consumo de energia mais eficiente.

Programa de Eficiência Energética (PEE): regulado e fiscalizado pela ANEEL representa a principal fonte de recursos para a eficiência energética no Brasil. Tais valores são uma exigência da Lei nº 9.991/2000, que estabeleceu que as distribuidoras de energia elétrica devem aplicar 0,5% da sua Receita Operacional Líquida (ROL) em ações de promoção da redução do consumo e de combate ao desperdício de energia. Além disso, desde 1998, os contratos de concessão firmados por essas empresas com a ANEEL estabeleceram que elas aplicassem anualmente um percentual mínimo de sua ROL em ações dessa natureza. Graças a essa determinação, o PEE soma mais de R\$ 4,6 bilhões em investimentos, contemplando setores como iluminação pública, residencial, comercial, prédios públicos, e industriais, além de projetos voltados à gestão energética municipal e a ações educacionais. A economia de energia obtida ultrapassa 8,5 terawatts-hora (TWh) por ano e a retirada de demanda na ponta foi da ordem de 2,5 GW.

Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE): Mantido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), publica a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, que classifica os produtos em faixas coloridas que variam da mais eficiente (A) a menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), levando em conta que os mais eficientes utilizam melhor a energia, têm menor impacto ambiental e custam menos para funcionar. A avaliação dos produtos regulamentados pelo PBE é inicialmente voluntária e, gradativamente, passa a ser compulsória. Periodicamente, o Inmetro coleta e verifica a

conformidade de amostras de produtos no mercado e fiscaliza, no comércio, se os produtos estão devidamente etiquetados, com a correta disposição das informações obrigatórias.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel): foi criado em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, e gerido por uma Secretaria Executiva subordinada à Eletrobrás. Em 1991, o Procel foi transformado em Programa de Governo, tendo abrangência e responsabilidade ampliadas. A missão do Procel é promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e eficiência dos bens e serviços, reduzindo os impactos ambientais.

Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás (Conpet): O CONPET é um programa do Governo Federal, criado em 1991, para promover o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil. O CONPET estimula a eficiência no uso da energia em diversos setores, com ênfase nas residências, nas indústrias e nos transportes, além de desenvolver ações de educação ambiental. Os principais objetivos do Programa são: racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia (CONPET, 2013).

Em 2012, o Procel desenvolveu projetos que contribuíram para uma economia de 9 milhões de megawatts-hora (MWh). Esse resultado equivale ao consumo anual de energia elétrica de aproximadamente 4,77 milhões de residências brasileiras. Os reflexos ambientais também foram significativos: a emissão de gases de efeito estufa evitadas pela economia proporcionada, no ano passado, pelo Procel alcançaram 624 mil toneladas de CO₂, o equivalente às emissões de 214 mil veículos em um ano. (ELETROBRAS, 2014)

O selo Procel, afixado em eletrodomésticos novos, é hoje nacionalmente conhecido. Além de orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, o Procel proporciona a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, eliminando os desperdícios e reduzindo os custos e os investimentos setoriais. Para receber o Selo Procel, o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo. Os recursos utilizados são da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão (RGR), fundo federal constituído com recursos dos

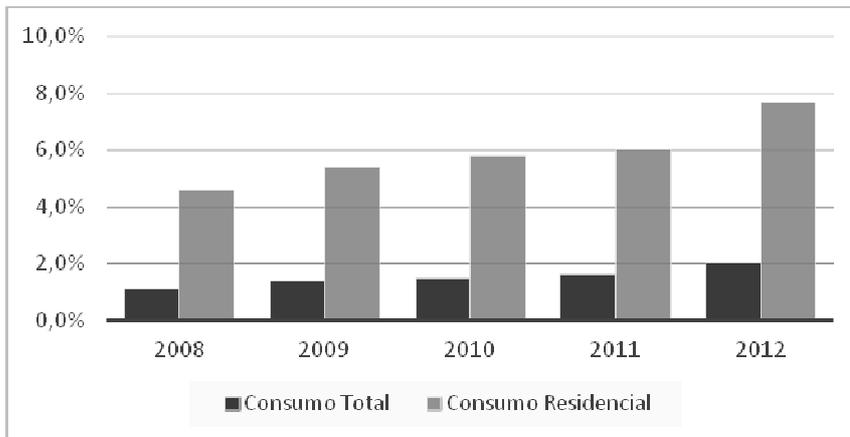
consumidores. Desde 1986, quando foi criado, o programa investiu mais de R\$ 1,2 bilhão em ações de eficiência energética. Em 2012, essas ações possibilitaram uma economia de energia da ordem de 9,1 terawatts-hora (TWh), o que equivale ao consumo de 4,8 milhões de residências. De 1986 a 2012, essa economia chega a 60,3 TWh, que corresponde ao consumo de 31 milhões de residências em um ano.

Em decorrência do significativo êxito do Procel, foram desenvolvidas diversas linhas de atuação através de subprogramas com o intuito de aprofundar mais a necessidade dos distintos setores consumidores. Os subprogramas foram desenvolvidos na medida em que se detectava a necessidade. Existem os subprogramas que atuam diretamente na execução de ações e projetos nos segmentos público e privado (Procel Reluz, Procel Sanear, Procel GEM, Procel Edifica, Procel EPP e Procel Indústria), como também subprogramas que visam alcançar a sociedade em geral, como a promoção de tecnologias eficientes e disseminação da informação (Procel Selo e Procel Info), e por último o que visa promover mudanças de hábitos e capacitação acadêmica (Procel Educação).

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL e atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil. O Procel Edifica tem por objetivo desenvolver atividades com vistas à divulgação e ao estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, apoiar a viabilização da Lei de Eficiência Energética (10.295/2001) e contribuir com a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor de edificações do país, reduzindo os custos operacionais na construção e utilização dos imóveis, os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

O consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. Buscando o desenvolvimento e a difusão desses conceitos, o Procel Edifica vem trabalhando através de seis vertentes de atuação: Capacitação, Tecnologia, Disseminação, Regulamentação, Habitação e Eficiência Energética e Planejamento.

Gráfico 2- Economia de energia elétrica em relação ao consumo total e residencial no Brasil devido ao Eletrobras Procel



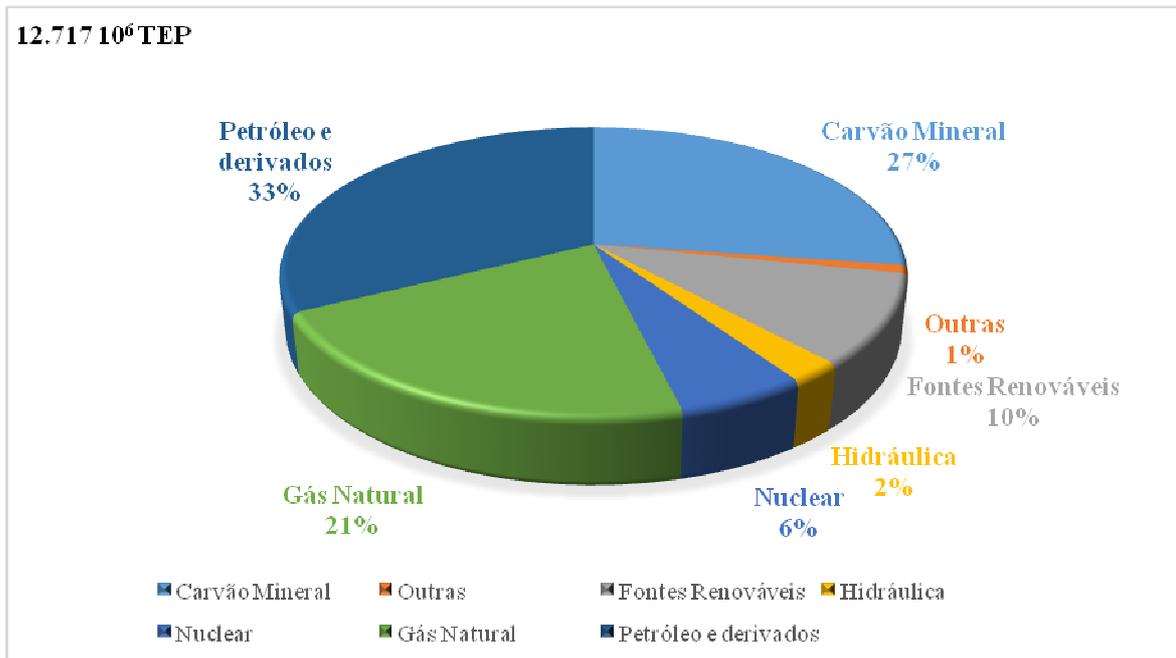
Fonte: Eletrobras- Relatório Resultados Procel 2013

Além dos programas de eficiência energética o marco regulatório foi importante para garantir e estimular melhorias na produção, oferta e consumo de energia. As leis que se destacam são as de nº 10.295/2001, que estabelece níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética para equipamentos comercializados no país; e a Lei nº 12.111/2009, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das empresas concessionárias.

2.5 ESTRUTURA DE OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL

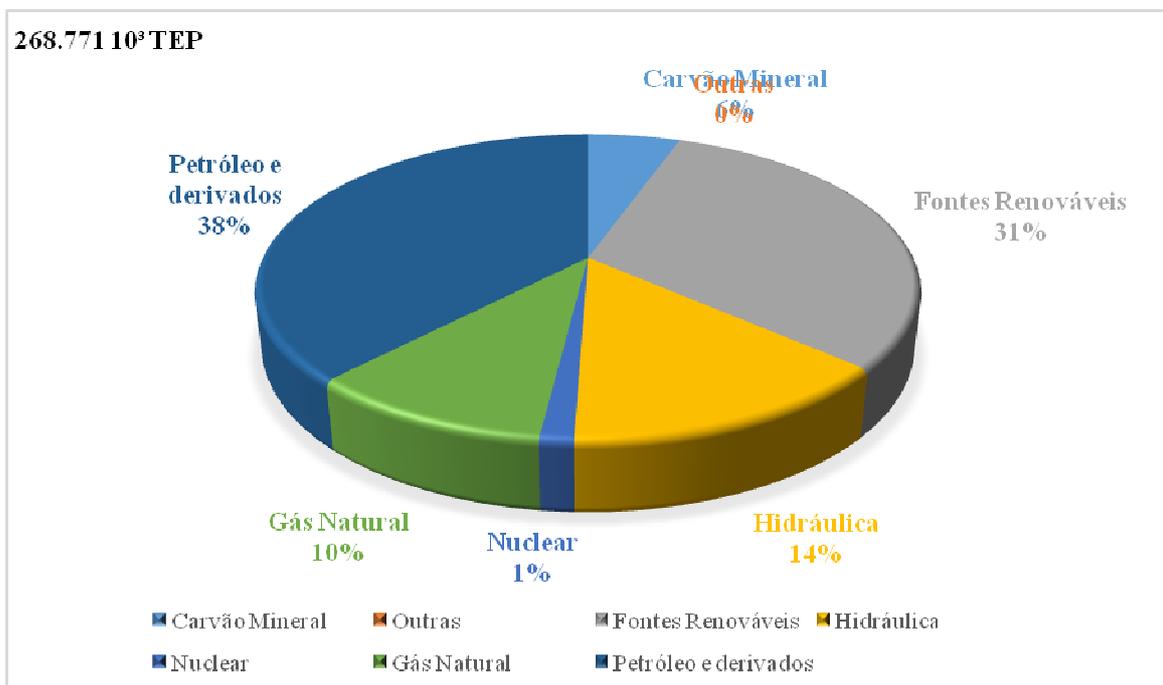
Diante da disponibilidade dos recursos naturais, o Brasil consegue extrair grande parte da energia proveniente de fontes renováveis. Enquanto o mundo tem aproximadamente 13% da sua matriz energética formada por fontes renováveis, a matriz energética brasileira é composta por 45% de fontes renováveis (biomassa da cana, hidráulica/eletricidade, lenha, carvão vegetal e outros) e 58% de fontes não renováveis (petróleos e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio). A matriz de geração elétrica é de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por montante superior a 74% da oferta (BEN, 2012). Os gráficos 3 e 4 retratam a composição das fontes de energia do mundo e do Brasil, com o destaque para a capacidade do país em utilizar cada vez mais fontes renováveis.

Gráfico 3- Oferta Mundial de Energia por Fonte- 2010



Fonte: BEN 2012

Gráfico 4- Oferta Interna de Energia por Fonte- 2010



Fonte: BEN 2012

De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional, em 2010, a energia elétrica/hidráulica representou a terceira maior participação na oferta interna de energia com 14%, atrás da oferta de energia decorrente de petróleo e derivados (38%) e de produtos da

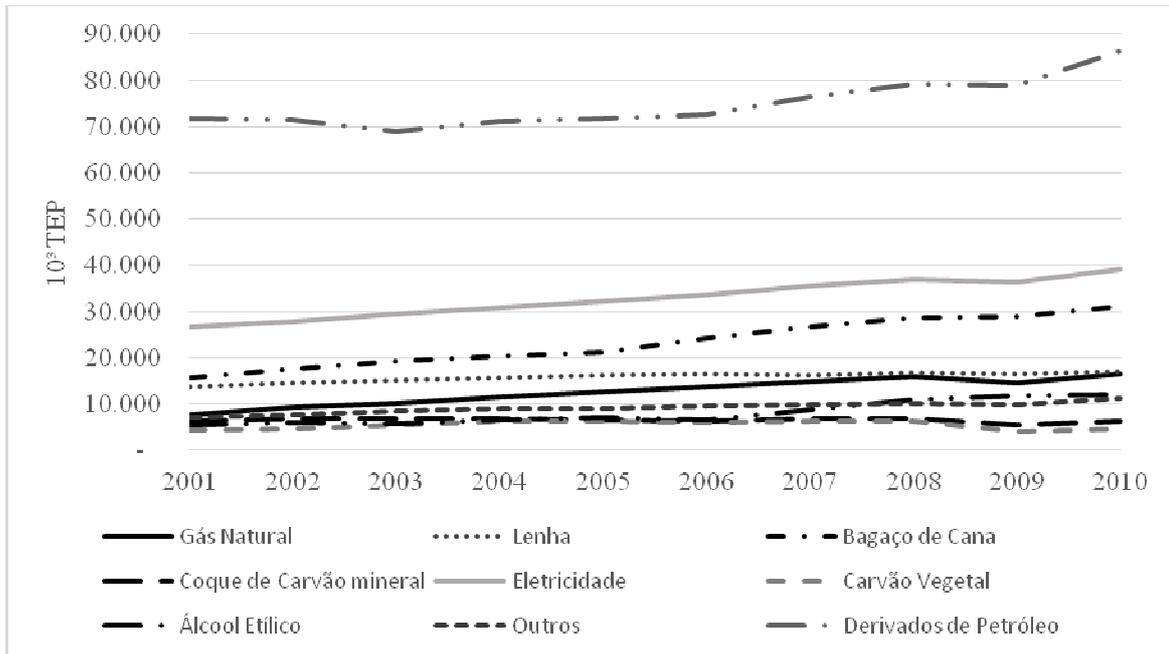
cana-de-açúcar (17,5%). Essa estrutura se manteve nos últimos anos, sendo que o gás natural vem apresentando participação cada vez maior.

O consumo final de energia apresentou, entre os anos de 2001 e 2010, um aumento de 41,4%, passando de 158.643 (10^3 tep) em 2001 para 224.252 (10^3 tep) em 2010. Nesse mesmo período, o consumo de eletricidade passou de 26.626 (10^3 tep) para 39.187 (10^3 tep), o que representou um aumento de 47,2%. O aumento do consumo por eletricidade superior ao aumento do consumo total de energia representa uma tendência de eletrificação na matriz do consumo. Apesar do consumo de energia ainda estar concentrado nas fontes de derivados de petróleo, o consumo dessas fontes, que em 2001 representava 45% da matriz energética, em 2010 foi reduzido para 39%. A redução do consumo baseado em derivados de petróleo foi compensada pelo aumento do consumo da eletricidade, gás natural e bagaço de cana.

Essa tendência de eletrificação, é também uma tendência mundial. Dados do BEN mostram que o consumo de eletricidade que representava 9,4% em 1973, passou a representar 17,7% do total da matriz energética mundial em 2010. Outra sinalização que mostra que o Brasil está no mesmo caminho do resto do mundo é a redução do consumo por fontes derivadas de petróleo.

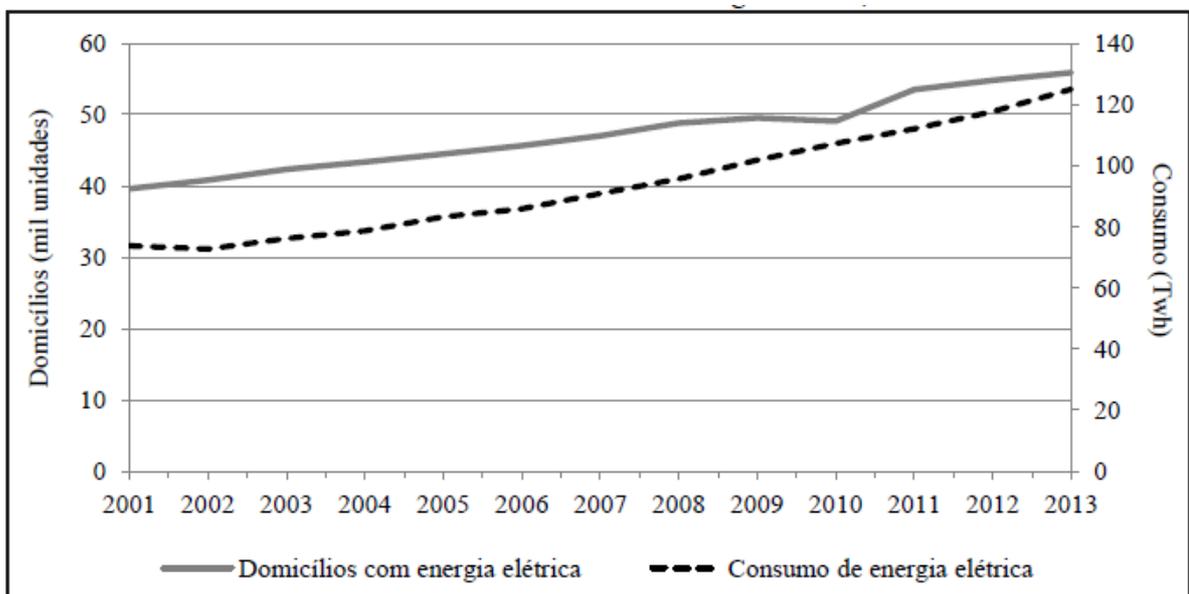
Dentre os 07 setores, classificados pelo BEN, que consomem energia elétrica (setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transportes e industrial), dois reduziram o consumo nos últimos dez anos (Setor Público e Industrial), enquanto os outros cinco aumentaram o uso de eletricidade. Na classificação, o setor residencial aparece como o 2º maior consumidor de energia elétrica (23,6% do total consumido), apenas o setor industrial consome mais (42,1% do total consumido).

Gráfico 5 - Consumo energético por fonte no Brasil: 2001 - 2010



Fonte: Elaboração própria com base no dados do BEN (2011)

Gráfico 06- Consumo de energia elétrica residencial e número de domicílios com energia elétrica, 2001-2013



Fonte: IBGE (2014), BEN (2009), BEN (2014).

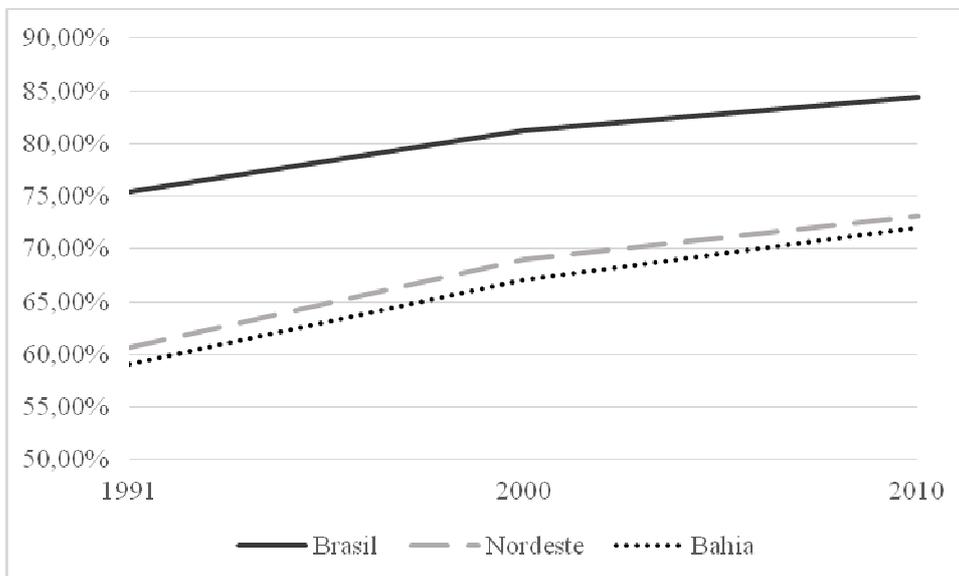
Seguindo uma tendência mundial, já que foi constatado nos Estados Unidos, em Hong Kong e em diversos outros, o consumo residencial *percapita* também aumentou nos últimos anos no Brasil. O gráfico 06 demonstra a evolução do consumo de energia elétrica do setor residencial em relação ao aumento do número de domicílios urbanos com ligações de rede de energia

elétrica no período de 2001 a 2013. É possível observar uma maior evolução no consumo de energia elétrica em relação ao número de domicílios com energia elétrica. O número de domicílios com energia elétrica passou de 39.619 em 2001, para 55.857 mil unidades em 2013 (aumento de 41%) (IBGE, 2010). No entanto, a taxa de crescimento do consumo de energia elétrica foi maior (69,0%), comprovando que o consumo *per capita* de energia elétrica vem aumentando no Brasil.

2.6 URBANIZAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA NO ESTADO DA BAHIA

A análise dos dados censitários de 2010 permite verificar que os estados mais populosos concentram mais de 58% da população do país, são eles: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia e Rio Grande do Sul. Esses estados mais populosos são também, em geral, os que têm maiores populações urbanas. Entretanto, Bahia e Minas Gerais são os estados que possuem a maior concentração de população rural (IBGE, 2010).

Gráfico 07 - Taxa de Urbanização Brasil-Nordeste-Bahia (1991/2010)



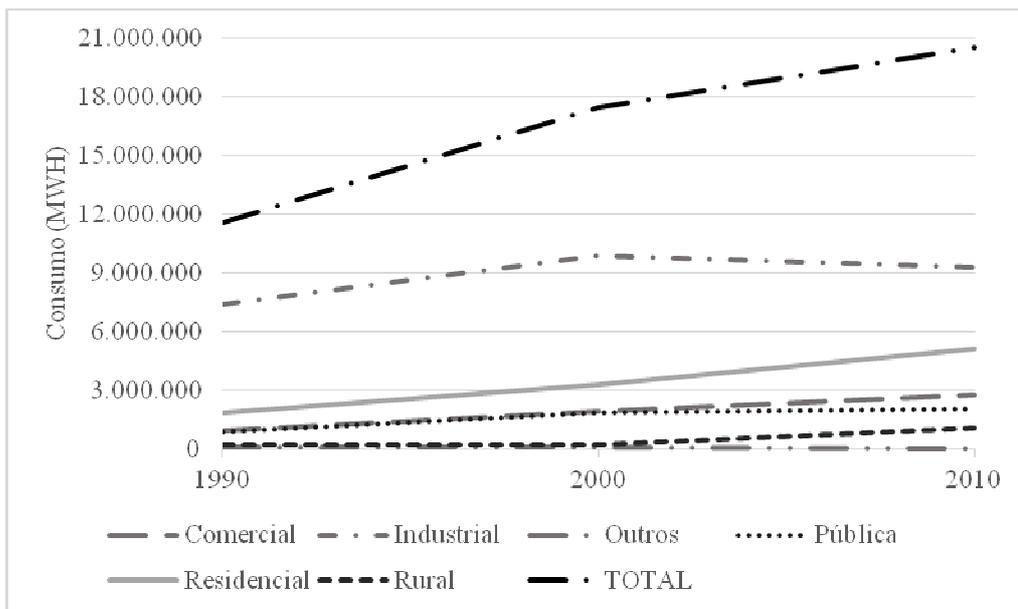
Fonte: IBGE. Elaboração própria.

Mesmo com grande concentração populacional, a Bahia está abaixo da média nacional da taxa de urbanização, conforme demonstrado no gráfico 7. Em 1991, 59,1% da população da Bahia morava em áreas urbanas, enquanto que a população urbana do Brasil representava mais de 75%. Em 2010, essa distância diminuiu: a Bahia passou a ter uma população urbana de 72,1% e o Brasil, de 84,4%. Ou seja, enquanto a taxa de urbanização do país variou 9,4 pontos

percentuais, entre 1991 e 2010, a taxa de urbanização da Bahia variou 13,0 pontos percentuais, no mesmo período. Isso significa que o processo de urbanização na Bahia permanece constante, mas aconteceu tardiamente quando comparado a outras unidades da Federação e à média nacional.

O aumento da maior concentração da população em áreas urbanas reflete no aumento do consumo de bens e serviços, e na utilização de insumos naturais, como água e energia. As cidades, por concepção, têm uma estrutura que demandam maior quantidade de energia para manter sua dinâmica; seja energia na forma de combustível, para viabilizar a locomoção, seja energia elétrica para iluminação das vias públicas, funcionamento do comércio, e conforto das residências.

Gráfico 08- Consumo de energia elétrica na Bahia 1990-2010



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da SEI

Entre os anos de 1990 e 2010, houve um aumento expressivo do consumo de energia elétrica na Bahia, com variação de 77%. O setor industrial representou, em 2010, 45% do consumo total de energia elétrica, seguido do setor residencial (25%) e comercial (14%). Apesar da forte participação do setor industrial, entre os anos de 2000 e 2010, o consumo desse setor reduziu em 6%, já o consumo residencial teve um incremento de 55% no mesmo período. Excluídos os setores industrial e “outros”, todos os demais tiveram variação positiva em ambos os períodos, 1990-2000 e 2000-2010. Dada a relevância do setor residencial, percebe-

se que este teve bastante influência para tendência crescente do consumo de energia elétrica total.

O crescimento da estrutura urbana nos últimos anos foi acompanhado pelo aumento do consumo de energia elétrica urbana (comercial, residencial e público). Diante disso, é importante observar se sempre há uma relação entre o grau de urbanização e o consumo de energia. Considerando que os estudos realizados apontam uma tendência crescente e direta entre urbanização e consumo de energia, o problema de pesquisa a ser investigado é: Quais são as regiões de maior concentração de eficiência energética em áreas urbanas no estado da Bahia?

Diante desse problema de pesquisa, o objetivo do presente trabalho é analisar o efeito da densidade urbana sobre a eficiência energética no consumo de energia elétrica nos municípios do estado da Bahia. A relação entre áreas de maior densidade populacional, densidade econômica e consumo de energia elétrica permite que possa identificar áreas de eficiência e ineficiência energética no estado. A análise do perfil urbano e econômico dessas áreas poderá fornecer algumas implicações para a formatação de políticas de eficiência energética no estado. O próximo capítulo apresentará a fundamentação teórica e estudos empíricos que investigam a relação entre densidade urbana e uso eficiente de energia.

3 ESTRUTURA URBANA E CONSUMO DE ENERGIA

A estrutura urbana gera impactos diretos no consumo de energia nos setores de transporte, comercial, público e residencial. Considerando que o uso de energia em transporte tem sido estudado extensivamente, e os setores comerciais e público não tem grande expressão no consumo total de energia urbana, o presente capítulo explora um pouco a relação da estrutura urbana com o consumo de energia residencial. Trata-se de uma nova área de investigação, portanto, são poucos os trabalhos desenvolvidos até o momento. Nas próximas seções serão discutidos alguns estudos teóricos e empíricos que mostram como características da estrutura urbana podem influenciar o consumo de energia residencial.

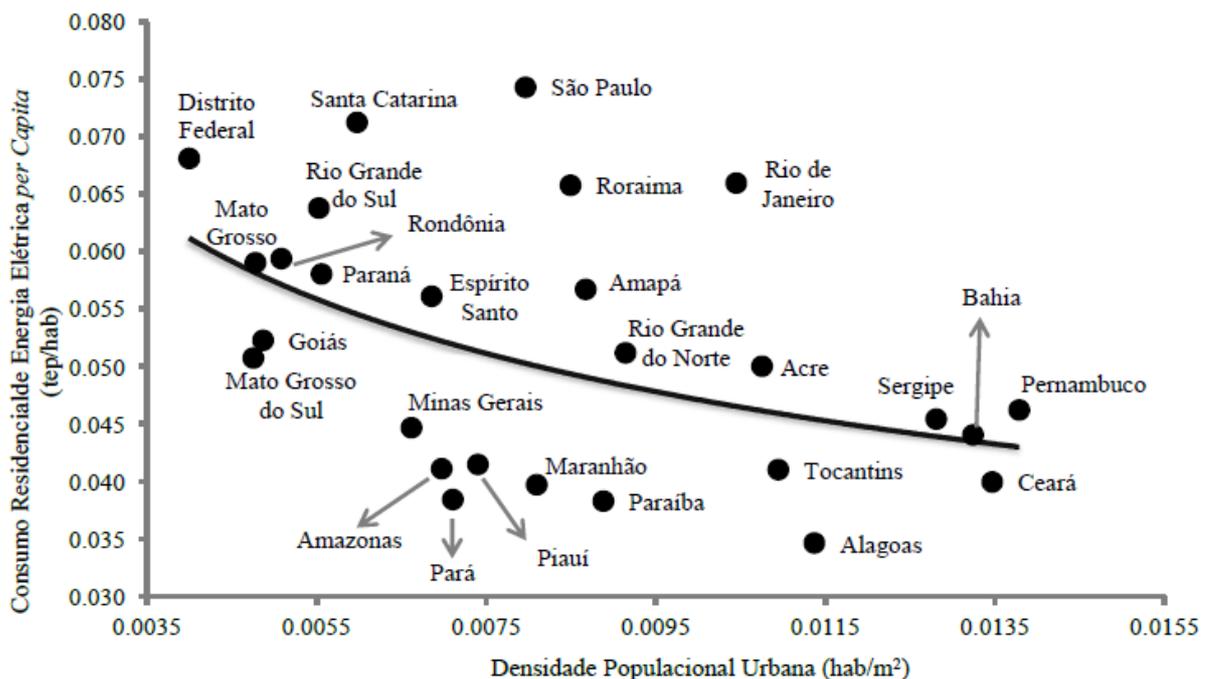
3.1 CIDADES E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em 2006, o setor residencial dos Estados Unidos foi responsável por mais de um quinto da energia total consumida e também responsável por mais de um quinto das emissões totais de dióxido de carbono relacionados com energia (EWING; RONG, 2008). “Quase 40% do total de emissões de dióxido de carbono norte-americanas estão associados a residências e carros, assim mudanças nos padrões de desenvolvimento urbano e de transporte pode afetar significativamente as emissões de gases poluentes” (GLAESER; KAHN, 2008. Tradução nossa). Diante disso, entende-se a importância de se estudar também o reflexo da formação das cidades para consumo de energia residencial. Apesar de haver uma grande preocupação com a emissão de poluentes decorrentes da queima de combustíveis derivados de petróleo no setor de transporte, Ewing e Rong (2008) alertam que o uso de energia pelo setor residencial nos EUA é também uma ameaça significativa a longo prazo para o planeta.

Ao passo que sugere qualidade de vida pelos serviços oferecidos, como polos educacionais, de saúde e entretenimento, as cidades podem também gerar situações adversas decorrentes de problemas socioambientais. Poluição, dificuldade de mobilidade, ilha de calor urbana e aumento do consumo de energia são alguns entraves para o desenvolvimento das áreas urbanas. “Como consequência, muitas cidades apresentam deseconomias de aglomeração, menor eficiência energética e menor produtividade. Desse modo, o aumento da densidade populacional ocorre de forma mais acelerada que a capacidade de provisão de infraestrutura adequada.” (PROQUE, 2014, p.17). A deseconomia de aglomeração é principalmente notada em cidades cujo crescimento aconteceu de forma desordenada e sem planejamento.

Atualmente, a população brasileira supera os 200 milhões de habitantes, sendo que, deste total, mais de 168 milhões de pessoas moram em cidades. Essa alta concentração nas áreas urbanas desencadeia três fenômenos importantes na relação entre economia urbana e energia: (i) crescimento acelerado da frota de veículos automotores; (ii) crescimento do consumo de combustíveis; (iii) expansão do consumo de energia elétrica (PROQUE, 2014). Esses fenômenos são explicados, dentre outros fatores, pelo aumento da renda da população e maior disponibilidade de crédito, que viabilizam a aquisição de bens que proporcionam maiores confortos. Por outro lado, esse aumento do consumo de bens desencadeia o aumento do consumo de energia, gerando grandes impactos ambientais.

Gráfico 09- Consumo de energia per capita e densidade populacional urbana por UFs: 2010



Fonte: PROQUE, 2014, com base em BEN (2014); CENSO/IBGE (2010); EMBRAPA (2005); ANP (2014); GASNET (2014); EPE (2013).

De acordo com o gráfico 09, pode-se perceber que há uma tendência decrescente no Brasil entre o consumo de energia residencial *per capita* e a densidade populacional urbana. “Os fenômenos do espraiamento urbano e da cidade compacta influenciam diretamente a economia de energia, ou seja, a eficiência energética. A alta densidade populacional pode diminuir a fração de terra ocupada pela cidade” (PROQUE, 2014, p.45). Nesse sentido, a

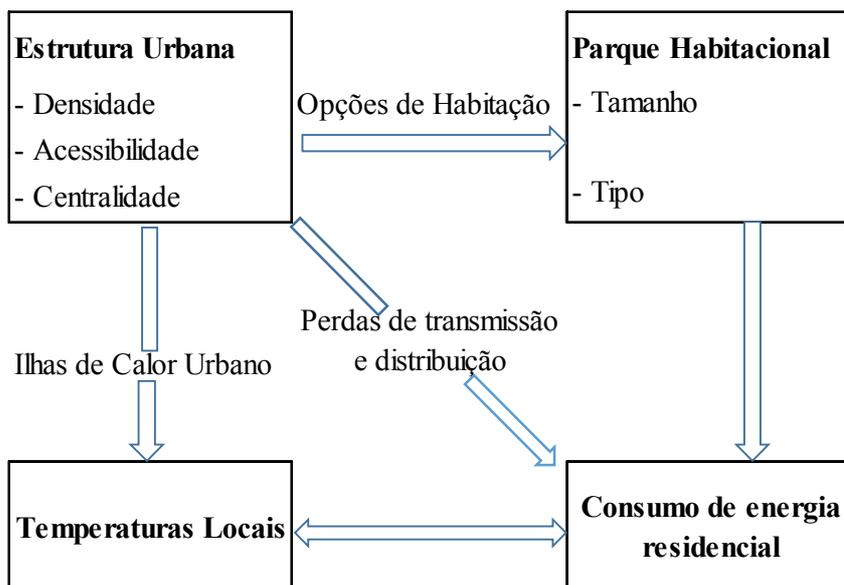
busca de elementos técnicos que permitam a conexão mais clara entre densidade urbana e eficiência energética, vem sendo alvo de esforço de muitos pesquisadores.

3.2 CAUSALIDADES DO CONSUMO ENERGÉTICO E ESTRUTURA URBANA

O nível de consumo de energia nas residências pode ser influenciado por diversas externalidades, de aspectos econômicos, sociais à ambientais. As características da população, como o nível de renda e de educação, e as características da cidade, como clima, localização, relevo, entre outras, tendem a influenciar um determinado nível de consumo de energia. O fato de estar submetida a tantas influências diferentes faz com que a estimativa do nível de consumo energético residencial, por exemplo, seja um processo complexo e ainda em desenvolvimento.

Além dos aspectos econômicos e sociais e características naturais das cidades, é importante mencionar que a estrutura urbana, como tamanho da cidade e a densidade urbana, também interfere no uso de energia nas residências. A maneira que a área urbana está organizada tende a gerar externalidades, como mudança na temperatura do ambiente, refletindo, assim, no consumo final de energia elétrica nas residências. Para entender melhor essa relação de causas e efeitos, Ewing e Rong publicaram, em 2008, um estudo que estabelece uma estrutura conceitual que relaciona formação urbana e o uso de energia residencial.

Figura 10 - Causalidade entre estrutura urbana e consumo residencial de energia



Fonte: Ewing e Rong 2008.

A estrutura urbana pode afetar o consumo de energia residencial através de três caminhos causais: O primeiro se dá diretamente através de perdas elétricas decorrentes da transmissão e distribuição de energia; o segundo acontece indiretamente através do parque habitacional; e o terceiro ocorre indiretamente através da formação de ilhas de calor urbano (EWING; RONG, 2008). Adiante, está exposto o quadro conceitual desenvolvido por Ewing e Rong (2008) que demonstram os efeitos da estrutura urbana sobre o consumo de energia residencial.

A partir do quadro conceitual proposto por Ewing e Rong (2008), é possível perceber a relação da estrutura urbana com o consumo final de energia elétrica nas residências. A estrutura urbana é influenciada pelos três itens elencados: densidade, acessibilidade e centralidade. No que se refere ao nível de densidade urbana, este pode trazer reflexos tanto para a temperatura da cidade, quanto para o tipo de habitação. As cidades mais densas tendem a gerar maiores ilhas de calor urbano e tendem a ter uma predominância de unidades do tipo multifamiliares.

Quanto à acessibilidade, esta compreende a disposição dos serviços em relação às moradias e o efeito desta sobre a logística de pessoas. Estruturas urbanas compactas têm menores movimentos pendulares, mas, por outro lado, geram maiores congestionamentos o que pode comprometer a eficiência energética dos veículos além de contribuir para o aumento das ilhas de calor urbano. Áreas urbanas amplas têm fontes de calor menos concentrados, mas também têm mais curso de veículo a motor e que resulta na queima superior de combustíveis fósseis (EWING; RONG, 2008).

A centralidade, por sua vez, indica maior concentração dos serviços e moradia para cidades monocêntrica e uma maior dispersão para cidades policêntricas. Os efeitos da centralidade são similares ao da densidade urbana. A concentração de serviço e moradia num mesmo núcleo reduz gastos energéticos com transporte, uma vez que as viagens pendulares são menores, mas por outro lado aumenta a temperatura local pela formação de ilha de calor urbano. No caso em que o planejamento urbano estimula a alta densidade num determinado núcleo urbano é importante avaliar os ganhos potenciais na redução das emissões de gases poluentes dos transportes contra possíveis aumentos na utilização de energia relacionados com os edifícios (FUERST; WEGENER, 2013). “Apesar da ambiguidade nas magnitudes desses efeitos de compensação, a visão predominante parece ser a de que há poupanças líquidas no

consumo de energia per capita associado ao tamanho da cidade” (LARSON; YEZER, 2014. Tradução nossa).

Além de influenciar a temperatura local, através da ilha de calor urbano, e o parque habitacional, pelas opções do tipo de moradia, o tipo de estrutura urbana pode evitar ou estimular perdas de energia elétrica decorrentes de transmissão e distribuição. Estruturas urbanas compactas contam com uma rede mais curta de transmissão e distribuição de energia, contudo, alguns casos, sobrecarregam as instalações. Estruturas urbanas amplas precisam de maiores distâncias de fios para abastecimento da rede elétrica, e quanto maior a distância, maior a probabilidade de perdas na transmissão da energia elétrica.

O efeito da relação entre estrutura urbana e consumo de energia residencial, em alguns casos, é ambíguo, portanto, faz-se necessário a aplicação em estudos empíricos para melhor constatação da relação de causa e efeito. Ewing e Rong (2008) concluíram que o desenvolvimento urbano compacto traz um duplo benefício: energético e ambiental. Os autores sinalizam que, em cidades compactas, a redução de energia de transporte (combustível) e das emissões de gases de efeito estufa gira em torno de 20-40% em comparação com áreas extensas. Além disso, acrescentam que, nestas cidades, redução do consumo de energia doméstica e das emissões de gases poluentes se apresentam em um nível semelhante. Nesse sentido, os locais com maior concentração de população são associados a uma redução no consumo global de energia per capita (PITT apud, HAN; GREEN; WANG, 2014).

Han, Green e Wang (2014) constataram que o consumo de energia residencial é determinado por quatro fatores principais: (i) macro fatores ambientais e econômicos, tais como condições climáticas locais, os preços da energia e ciclo econômico; (ii) fatores de ambiente construídos, tais como disposição de transporte, distribuição da população, a acessibilidade aos serviços e densidade do bairro; (iii) características do agregado familiar, tais como renda, educação e atitudes em relação ao meio ambiente; (iv) características das habitações, tais como tamanho, estrutura, e tempo de construção do edifício. Os resultados de vários estudos confirmam o impacto destes quatro fatores determinantes para o consumo de energia elétrica residencial (HAN; GREEN; WANG, 2014).

Os fatores climáticos desempenham um papel fundamental na determinação do consumo doméstico de energia, que irá variar em diferentes condições climáticas, pela necessidade de aquecimento ou resfriamento do ambiente interno. Fatores de ambiente construído, tais como uso do solo, transporte, distribuição da população e de prestação de serviços e postos de trabalho, influenciam as viagens pendulares e conseqüentemente o uso de combustíveis fósseis. Características do agregado familiar, como renda e comportamento do residente, são fundamentais para determinação da utilização de energia. O nível da renda familiar determina, tanto o tipo de habitação (parque habitacional) quanto as características associadas em relação ao uso de energia (HAN; GREEN; WANG, 2014)

A primeira tentativa de avaliar o efeito da estrutura urbana no consumo total de energia de uma área urbana, incluindo o consumo de energia residencial, foi apresentada por Larson e Yezer (2014). Em seu modelo de equilíbrio geral, os autores incluem o consumo energético doméstico como uma função da área da casa, renda familiar, preços de energia, tipo de estrutura da habitação e um vetor de outros controles. Após a aplicação do modelo foi constatado que características físicas da habitação (particularmente tamanho e tipo de estrutura) estão entre os mais fortes itens que estimulam a demanda de energia residencial.

3.3 ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE O USO DE ENERGIA RESIDENCIAL

Com base nos dados do censo dos Estados Unidos, Ewing e Rong (2008) demonstraram que as pessoas residentes de municípios amplos são mais propensas a viver em casas grandes. Embora esta constatação seja um pouco óbvia, eles também relatam que as famílias que vivem em casas afastadas consomem 54% mais energia para aquecimento e 26% mais espaço para resfriamento quando comparadas a famílias que vivem em unidades multifamiliares. Da mesma forma, a vida doméstica em uma casa de 2.000 metros quadrados consome 16% a mais para o aquecimento e 13% a mais para refrigeração do ambiente do que as unidades multifamiliares.

Apesar de investir em tecnologia para viabilizar o aumento da eficiência energética, o uso de energia primária per capita em edifícios residenciais vem aumentando gradualmente desde o início de 1980 nos Estados Unidos. Nas últimas décadas, esse aumento aconteceu num ritmo mais lento do que no período que vai do início de 1950 ao final de 1970, quando as emissões per capita de dióxido de carbono residenciais aumentaram de forma mais significativa. É

provável que o uso per capita de energia e as emissões de gases de efeito estufa associados continuem subindo e que os avanços na tecnologia por si só não atinjam o crescimento sustentável do uso de energia (KUNKLE, 2004; LEBOT; BERTOLDI; HARRINGTON, 2004; SIDERIUS, 2004; *apud* EWING; RONG 2008). Assim, além de avanços tecnológicos para aumentar a eficiência energética, é preciso desenvolver medidas do lado da demanda para manter a oferta e a demanda de energia em equilíbrio razoável.

Segundo Hui (2001), num estudo desenvolvido sobre eficiência energética residencial em Hong Kong, o uso de energia em edifícios representa uma importante parcela da demanda total de energia de Hong Kong, especialmente para a eletricidade. Essa é uma tendência que se mantém como efeito da urbanização. Em 1997, o setor da construção (residencial e comercial) era responsável por 84% do consumo de eletricidade e de mais de 40% das necessidades de energia final em Hong Kong (HUI, 2001). O aumento do consumo de energia per capita em Hong Kong nas últimas décadas pode ser atribuído ao aumento do padrão de vida e às mudanças nas atividades econômicas. Mesmo com grande potencial de poupança de energia nos edifícios, Hui (2001) coloca que algumas restrições e barreiras institucionais tem impedido o uso mais eficiente de energia. Dentre os principais fatores apontados pelo autor estão: a baixa consciência ambiental dos usuários, o rápido desenvolvimento do setor de construção, o baixo preço da energia, baixa perspectiva de investimento de curto prazo e baixa competitividade do mercado de energia.

O capítulo buscou identificar, através de estudos realizados, qual a relação da estrutura urbana no consumo final de energia residencial. Como essas variáveis podem contribuir para cidades energeticamente eficientes e como se comporta a densidade populacional diante do consumo de energia *per capita*. Apesar dos efeitos não serem tão óbvios, percebe-se que cidades compactas e com maior densidade populacional viabilizam uma redução no consumo de energia elétrica. Com essa constatação, pretende-se analisar se os municípios da Bahia com maior densidade urbana desfrutam de uma maior eficiência energética.

4 METODOLOGIA E DADOS

O objetivo deste capítulo é apresentar a metodologia utilizada neste trabalho de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e o banco de dados para que possa ser feita a análise do comportamento do consumo energético nos municípios da Bahia e se há autocorrelação espacial. O capítulo está dividido em 5 seções. Na primeira seção é feita uma breve explanação sobre o que é a AEDE. A segunda faz referência às matrizes de pesos espaciais utilizadas para a análise exploratória. Em seguida, explica-se a metodologia do I de Moran, e, posteriormente o indicador espacial local (LISA) e seu mapa de *clusters*. A última seção aborda informações sobre o banco de dados do consumo energético urbano e residencial dos municípios da Bahia.

4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS

Esta seção é amplamente baseada em Almeida (2012) e aborda a análise exploratória de dados espaciais (AEDE) que é utilizada para a análise estatística de informação geográfica, com o intuito de descobrir padrões espaciais nos dados. A AEDE descreve distribuições espaciais, identifica observações discrepantes no espaço, detecta associação espacial e sugere *clusters* espaciais (ALMEIDA, 2012). Assim, o objetivo primordial é tratar dos efeitos espaciais de heterogeneidade e dependência entre as observações que é a coincidência de similaridade dos dados acoplada com similaridade de localização.

A autocorrelação espacial é uma maneira comum de testar dependência espacial nos dados. A presença de autocorrelação espacial viola uma hipótese básica dos modelos de regressão lineares que é a independência das observações. A dependência espacial decorre da existência de correlação entre os dados da variável dependente ou do termo de erro com os dados das localizações vizinhas. A medida utilizada neste trabalho para verificar a presença de dependência espacial é a estatística I de Moran que será explicado nesse capítulo.

4.2 DEPENDÊNCIA ESPACIAL E MATRIZ DE PESOS ESPACIAIS

A dependência espacial remete à influência que as variáveis em análise de uma determinada área sofrem por conta dessas mesmas variáveis em outras áreas. Caso o valor de uma variável

de interesse numa certa região i dependa do valor dessa variável nas regiões vizinhas j , está configurada a dependência ou autocorrelação espacial. Isso ocorrerá sempre que a covariância for diferente de zero. Para avaliar essa autocorrelação espacial faz-se necessário estimar um parâmetro que meça o grau de interação.

O grau de interação entre as regiões é feito através de uma matriz de pesos espaciais. Essa matriz é construída dado um conjunto de n áreas $\{A_1 \dots A_n\}$ que são distribuídas na matriz $W(1)$ ($n \times n$), onde cada um dos elementos w_{ij} representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j . A matriz de pesos espaciais pode ser do tipo binária, de distância inversa, do tipo geral de Cliff e Ord, ou ainda de distância socioeconômica. Considerando as variáveis que serão analisadas, o presente trabalho utiliza a matriz do tipo binária que será explicada a seguir.

A matriz binária considera uma região vizinha a outra seguindo o critério de contiguidade, ou seja, duas regiões são vizinhas se tiverem uma fronteira física em comum. A matriz é definida tendo 0 quando duas regiões não são vizinhas e 1, quando são vizinhas. Por convenção, não se considera que uma região i seja vizinha de si própria. Para atribuir o valor de 0 ou 1 é preciso que se defina bem a questão da contiguidade e por consequência da vizinhança. Essa definição pode ser prejudicada considerando apenas a análise dos mapas, portanto, é necessário a utilização de outro artifício de análise. A convenção de contiguidade do tipo rainha (*queen*) e torres (*rook*), a seguir apresentadas, eliminam a questão da abstração e os erros de medidas dos mapas (ALMEIDA, 2012).

O tipo Rainha considera como vizinhos regiões que compartilhem fronteiras com dimensão maior que zero e também aquelas que compartilham apenas um vértice.

Figura 11 - Convenção Rainha de contiguidade

		A		

Fonte: ALMEIDA (2012)

A convenção do tipo Torre se caracteriza por identificar como vizinhos somente aquelas regiões que compartilhem fronteiras de dimensão maior que zero, como se explicita na figura abaixo.

Figura 12 - Convenção Torre de contiguidade

		A		

Fonte: ALMEIDA (2012)

A desvantagem das matrizes espaciais de contiguidade é que elas não são balanceadas, já que, por consequência da área total de uma determinada região, esta pode ter muito mais vizinhos do que outra região de área menor. Para minimizar tal efeito é utilizado a matriz dos k vizinhos mais próximos que fixa uma distância geográfica. Por outro lado, as matrizes especiais de contiguidade permitem a definição de vizinhos de ordens superiores, ou seja, após considerada a vizinhança de primeira ordem, considera-se a vizinhança de segunda ordem, composta pelos vizinhos dos vizinhos. Para o presente trabalho será usada a vizinhança de segunda ordem.

4.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL (I DE MORAN)

O Índice de Moran Global demonstra como os valores das variáveis em análise estão correlacionados no espaço. Esse índice visa identificar a estrutura de dependência espacial que melhor descreve como a variável de uma determinada região influencia a mesma variável em regiões vizinha. O índice de Moran varia de -1 a +1. Os valores positivos, entre 0 e 1, indicam correlação direta, ou seja, o valor de uma variável na área influencia a mesma variável em áreas vizinhas. Valores negativos, entre -1 e 0, indicam correlação inversa, onde o valor da variável numa região não depende dos valores da mesma variável em área vizinhas. O valor zero, teste de hipótese nula, significa independência espacial. Para o cálculo do I de Moran, utiliza-se a expressão a seguir:

$$I = \frac{n}{\sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Na equação, n é o número de observações, y é o valor da variável de interesse, w_{ij} é o peso espacial para o par de unidades espaciais i e j , medindo o grau de interação entre elas.

Para realizar o cálculo do I de Moran Global faz-se necessária a utilização de uma matriz de pesos espaciais W . Isto pode ser feito utilizando um operador de defasagem espacial, em que a média ponderada da variável seja dada pela localização das variáveis aleatórias vizinhas. Nesta matriz de vizinhança, cada elemento representa uma medida de proximidade entre as áreas. No cálculo, é preciso fazer uma normalização das linhas desta matriz para que o somatório dos elementos de cada uma das linhas tenha igual a 1.

Após calculado o I de Moran Global é possível construir o diagrama de Moran. Este diagrama mostra a dispersão de uma variável contra seu valor defasado espacialmente, e permite obter informações sobre a presença de agrupamentos (clusters). O diagrama de Moran fornece quatro tipos de associação linear espacial: o quadrante Alto-alto, Baixo-baixo, Alto-baixo e Baixo-alto, conforme representado a seguir:

Figura 13 – Diagrama de dispersão de Moran

Valor assumido pela defasagem espacial da variável	Baixo-Alto	Alto-alto
	Baixo-baixo	Alto-baixo
	Valor assumido pela variável	

Fonte: ALMEIDA (2012).

Os quadrantes, superior direito e inferior esquerdo indicam associação espacial positiva, que pode ser percebida quando o coeficiente angular é positivo. Isso significa que o valor da variável observada numa região possui comportamento similar aos valores da mesma variável nas regiões vizinhas. Os quadrantes superior esquerdo e inferior direito indicam associação espacial negativa e a formação de *clusters*.

Um agrupamento no quadrante superior direito Alto-alto significa que tanto o valor da variável de interesse de uma observação quanto o valor médio para seus vizinhos estão acima da média do conjunto. Caso o valor da variável de interesse de uma observação e o valor médio para seus vizinhos estiverem abaixo da média do conjunto, então o agrupamento estará no quadrante inferior esquerdo, Baixo-baixo. Um agrupamento no quadrante superior esquerdo, Baixo-alto, significa que o valor da variável de interesse de uma observação possui valor baixo enquanto é rodeada por observações com valor alto. Já o quadrante inferior-direito, Alto-baixo, significa o contrário, ou seja, o valor da variável observada de uma área possui valor alto sendo rodeada por observações com valor baixo.

O Índice global de Moran é considerado um bom teste para verificar a existência de correlação espacial, entretanto, possui algumas limitações como a ineficácia para detectar se a correlação está no termo de erro ou na variável depende. Com isso, faz-se necessário a utilização de outros índices para uma análise mais detalhada dos dados. O indicador LISA (*Local Indicators of Spatial Association*), teste derivado do I de Moran Global, é uma alternativa à limitação do I de Moran, e será explicado a seguir.

4.4 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL (LISA)

Os indicadores globais de autocorrelação espacial, como o Índice de Moran, explicado na seção anterior, fornecem um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados de área. Porém, muitas vezes é desejável examinar padrões mais detalhados. Para tanto, é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser associados às diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente. Essa metodologia utiliza o Índice de Moran Local para encontrar a correlação espacial dessas áreas, conhecido como indicador LISA. Por se tratar de um indicador local, tem-se um valor específico de correlação para cada área, permitindo assim a identificação de clusters de áreas e *outliers*. O indicador de Moran Local é dado pela equação abaixo:

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_j w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\sum_j (y_j - \bar{y})^2 / n}$$

Na equação, n é o número de observações, y é o valor da variável de interesse, w_{ij} é a matriz de pesos espaciais.

O indicador de I de Moran local faz uma decomposição do indicador global de autocorrelação na contribuição local de cada observação em quatro categorias, cada uma individualmente correspondendo a um quadrante no diagrama de dispersão de Moran. A partir deste indicador é possível gerar o LISA MAP. Esse mapa permite a visualização dos valores determinados pelo índice de Moran Local classificados em cinco diferentes níveis de significância: sem significância; significância de 0,05 (95% de confiança); de 0,01 (99% de confiança); de 0,001 (99,9% de confiança); e de 0,0001 (99,99% de confiança).

Os indicadores apresentados, I de Moran e LISA, foram calculados utilizando o programa *Geoda*. O objetivo é analisar a presença de autocorrelação espacial das variáveis densidade urbana, intensidade energética urbana e residencial e eficiência energética urbana e residencial dos municípios da Bahia.

4.5 BASE DE DADOS

Com o objetivo de verificar se a realidade da Bahia está coerente com a linha de estudo recentemente desenvolvida e exposta no capítulo 3, foram colhidos dados referentes aos municípios baianos para análise empírica. A base de dados foi obtida em sites de órgãos do governo, portanto, tratam-se de dados públicos. As outras variáveis foram obtidas através da relação entre duas variáveis selecionadas, conforme explicado a seguir:

A **densidade urbana** é o resultado da população urbana dividida pela área urbana do município em Km². Um número alto de densidade urbana significa que existem muitas pessoas convivendo no mesmo km².

Os índices de **eficiência energética urbana** e **eficiência energética residencial** são o resultado do consumo de energia elétrica, em KWh, dividido pela área total urbana em Km². Para a eficiência energética urbana considera-se como consumo urbano o somatório do

consumo dos setores: residencial, comercial e público. Para a eficiência do consumo residencial é considerado apenas o consumo residencial. Quanto maior o número encontrado pior a eficiência energética, pois, significa que muita energia é consumida num espaço relativamente pequeno.

Os índices de **intensidade energética urbana** e **intensidade energética residencial** são o resultado do consumo de energia elétrica, em KWh, dividido pelo Produto Interno Bruto (PIB) do município. Para a intensidade energética urbana considera-se como consumo urbano o somatório do consumo dos setores: residencial, comercial e público. Para a intensidade do consumo residencial é considerado apenas o consumo residencial. A intensidade energética também é uma medida de eficiência energética. Portanto, quanto maior o número encontrado pior a eficiência energética, pois, significa que muita energia é consumida para um nível, relativamente baixo, de produção e geração de riqueza do município.

A tabela a seguir apresenta a síntese das variáveis analisadas no estudo e as fontes de onde foram extraídas:

Quadro 14 – Relação das variáveis de análise e fonte dos dados

Variáveis	Fonte dos dados
PIB e PIB per Capita	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
População (Urbana e Total)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Área (Urbana e Total)	Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER)
Consumo de Energia Elétrica	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI)/ Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba)
Densidade Urbana	Elaboração própria com base nos dados do IBGE e CONDER
Eficiência Energética	Elaboração própria com base nos dados do SEI/COELBA e CONDER
Intensidade Energética	Elaboração própria com base nos dados do SEI/COELBA e IBGE

Fonte: Elaboração própria

Utilizando a metodologia apresentada de análise exploratória de dados espaciais, pretende-se avaliar o consumo de energia nos municípios da Bahia, e confrontar os resultados com a teoria da densidade urbana e eficiência energética exposta no capítulo 3. Pretende-se verificar se há autocorrelação espacial nas variáveis selecionadas: densidade urbana, eficiência energética e intensidade energética, utilizando a matriz do tipo rainha (*queen*) de segunda ordem. Será verificado também como se comporta o I de Moran e se há formação de *clusters*. Os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

5 EFICIENCIA E INTENSIDADE ENERGÉTICA URBANA NO ESTADO DA BAHIA

O presente capítulo visa analisar os resultados obtidos da coleta de dados dos municípios da Bahia acerca do consumo de energia elétrica urbana e residencial. Para tal análise, será utilizada a metodologia exposta no capítulo anterior com a aplicação da teoria explanada no capítulo 3. Inicialmente, são analisados os mapas da Bahia contendo informações sobre densidade urbana, PIB *percapita* e consumo eficiente de energia elétrica. Em seguida, são apresentadas as análises do indicador de autocorrelação espacial global e respectivo diagrama de dispersão para as seguintes variáveis dos municípios da Bahia em 2010: (i) densidade urbana, (ii) PIB *percapita*, (iii) eficiência energética urbana, (iv) eficiência energética residencial, (v) intensidade energética urbana, e (vi) intensidade energética residencial. Logo após, apresentam-se os indicadores de autocorrelação espacial local e respectivos mapas de *clusters* para as mesmas variáveis.

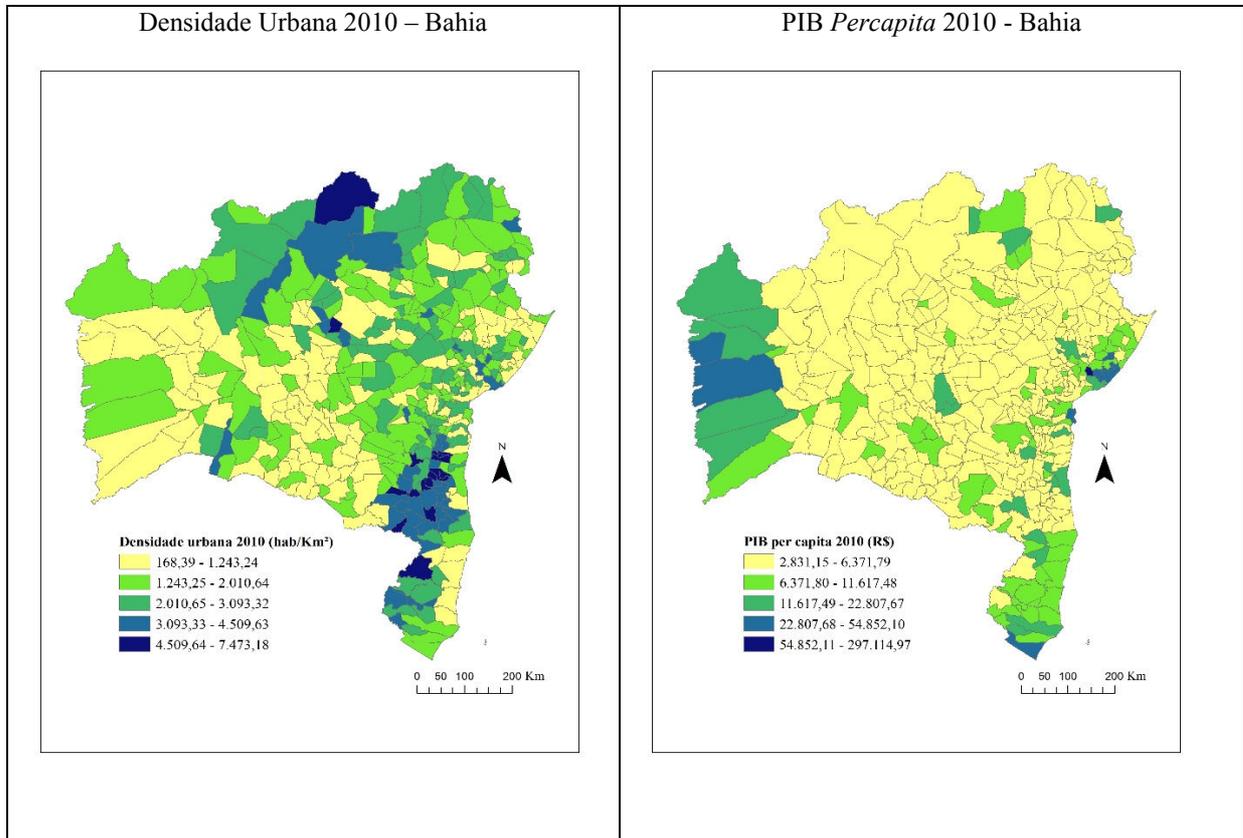
5.1 ANÁLISE DOS DADOS ESPACIALIZADOS

Os mapas abaixo foram criados através das informações públicas obtidas junto aos seguintes órgãos: IBGE, SEI, COELBA e CONDER. Para verificar o impacto da densidade urbana e dos rendimentos das famílias baianas na eficiência energética serão analisados os seguintes mapas: Densidade Urbana e PIB *percapita*; Intensidade Energética Urbana e Residencial; Eficiência Energética Urbana e Residencial.

A densidade urbana é calculada dividindo a população urbana pela área urbana, em km². Considerando a população urbana da Bahia, em 2010, de 14.016.906 habitantes, e a área urbana 5.704,46 km², encontra-se uma densidade urbana média de 2.457 habitantes/km². É possível observar duas regiões com maior concentração de densidade urbana no estado, uma formada por municípios da região do Vale do São Francisco e outra por municípios das regiões Centro-Sul e Sul Baiano. Os municípios da Bahia com menor densidade urbana são: Serra do Ramalho, com 170 habitantes/Km²; Inhambupe com 248 habitantes/Km²; e Palmeiras com 253 habitantes/Km². Já os municípios com maior densidade urbana são: Itororó (7.473 hab/Km²), Barro Preto (7.381 hab/Km²) e Floresta Azul (6.564 hab/Km²). Salvador, apesar de comportar aproximadamente 20% da população urbana do estado (2.675.656 habitantes), não faz parte da lista dos municípios com maior densidade urbana, que

é de 3.939 hab/Km². Isso acontece porque seu resultado depende não só da quantidade de pessoas em seu território, mas também da extensão de terra que elas ocupam.

Figura 15 – Mapas de Densidade Urbana e PIB *Per capita*



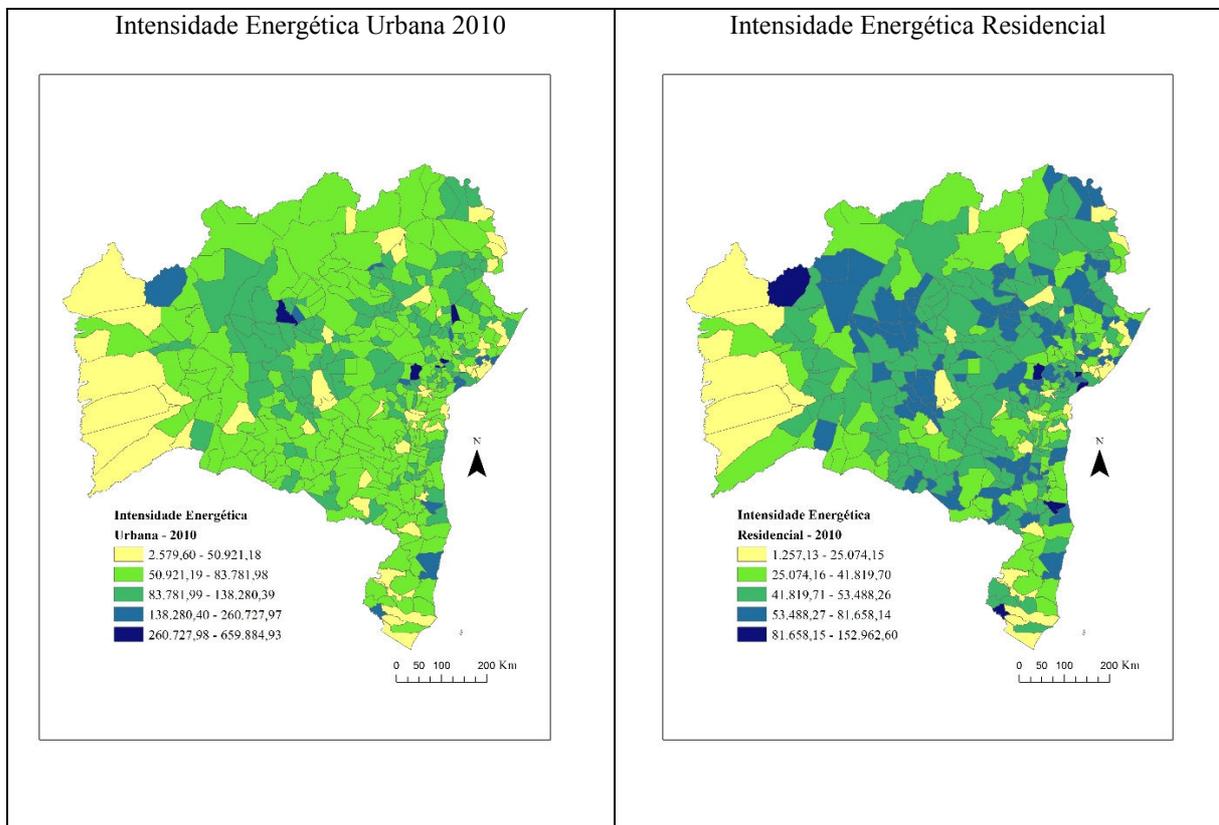
Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

O PIB *per capita* da Bahia, em 2010, era de R\$ 11.007 (IBGE). Como pode ser observado no mapa exposto na figura 14, grande parte dos municípios do estado estão abaixo da média do estado. Existem duas concentrações de municípios com maior PIB *per capita* no estado, uma formada por municípios da região Metropolitana de Salvador e outra por Municípios da região Oeste da Bahia. Os menores PIB *per capita* são dos municípios de Novo Triunfo (R\$ 2.831,15), Caetanos (R\$ 2.842,73) e Anguera (R\$ 3.036,67). O maior PIB *per capita* é do município de São Francisco do Conde (R\$ 297.114,97), seguido dos municípios da região metropolitana de Salvador, Camaçari (R\$ 54.852,10) e Candeias (R\$ 50.530,73). O PIB *per capita* da capital do estado é de R\$ 13.629,57. A região Oeste da Bahia concentra uma região de municípios com PIB *per capita* acima da média do estado. Essa região é formada pelos municípios de Formosa do Rio Preto; Riachão das Neves; Barreiras; Luís Eduardo Magalhães; São Desidério; Correntina; Jaborandi; e Côcos. A economia dessa região está baseada no setor agrícola, com forte predominância da plantação de grãos e principalmente de

soja. Dentre os municípios do oeste baiano, se destacam Luís Eduardo Magalhães e São Desidério com PIB *percapita* de R\$ 34.645,00 e R\$ 31.036,43, respectivamente.

Os próximos mapas, expostos na figura 16, são de intensidade energética urbana e intensidade energética residencial. Conforme explicado anteriormente, a intensidade energética é o resultado do consumo de energia elétrica, em KWh, dividido pelo Produto Interno Bruto (PIB). Um número alto significa que o município consome muita energia elétrica proporcionalmente ao que produz. Quanto menor o número, mais eficiente energeticamente o município tende a ser, pois precisa de pouca energia para a produção de bens e serviços.

Figura 16 – Mapas de Intensidade Energética



Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

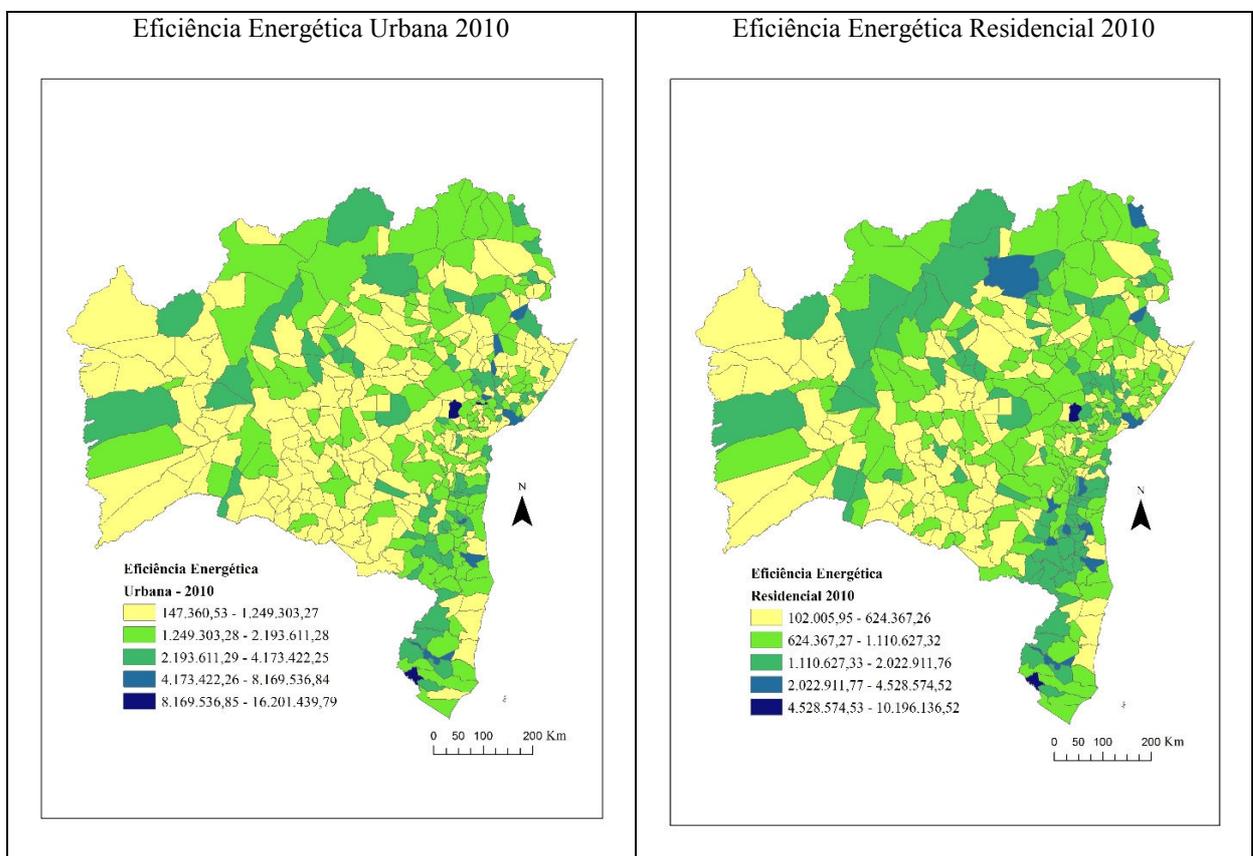
Assim, analisando os mapas da figura 16, a região do Oeste Baiano se destaca pela concentração de municípios com baixa intensidade energética. Dentre os vinte municípios com menor intensidade energética urbana, cinco deles estão na região oeste, que são: São Desidério, Formosa do Rio Preto, Jaborandi, Luís Eduardo Magalhães e Correntina. O município que apresenta melhor intensidade energética urbana (consumo de energia

elétrica/PIB) é São Francisco do Conde, seguido de Barrocas e São Desidério. Os municípios menos eficientes, segundo a mensuração através da intensidade energética são: Muritiba, Conceição da Feira e Biritinga. O município com menor intensidade energética urbana, São Francisco do Conde, apresenta o terceiro maior PIB no estado, além de ter o maior PIB *percapita*, conforme exposto anteriormente.

O mapa de intensidade energética residencial segue uma tendência de piora em relação ao mapa de intensidade energética urbana, ou seja, os municípios tendem a apresentar um maior nível de intensidade energética no que se refere ao consumo residencial quando compara-se à intensidade energética urbana. Nesse sentido, percebe-se já um indicativo de que as residências apresentam um potencial para intervenções voltadas para a promoção de eficiência energética, uma vez que a intensidade energética residencial mostra-se mais alta que a intensidade energética urbana na maior parte das regiões analisadas.

Na figura 17, apresentam-se os próximos mapas, que se referem especificamente à **eficiência energética urbana** e à **eficiência energética residencial**.

Figura 17- Mapas de eficiência energética



Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

A eficiência energética foi calculada dividindo-se o consumo de energia elétrica, em KWh, pela área total urbana, em km². Para que haja boa eficiência energética, o número encontrado deve ser pequeno, pois significa que pouca energia elétrica é consumida em determinada área.

A fim de avaliar a relação entre a eficiência energética e a densidade urbana, foi feita uma análise comparativa considerando 5% dos municípios com melhor eficiência energética versus 5% dos municípios com maior densidade urbana. Ao avaliar os municípios que compunham ambas as listas, identificou-se que não houve repetição de nomes nas duas relações. Tal fato indica que, tomando por base os dados de 2010, não é possível estabelecer uma relação direta entre a alta eficiência energética dos municípios da Bahia e a alta densidade urbana. Ainda nesta direção, também verificou-se que não houve compatibilidade dos nomes dos 5% dos municípios com pior eficiência energética e menor densidade urbana. Sendo assim, considerando estes dados, não é possível atribuir à questão da eficiência energética apenas à densidade urbana, refutando, assim, parte da teoria exposta do capítulo 3.

5.2 ÍNDICE DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL GLOBAL (I DE MORAN)

O I de Moran Global univariado foi calculado usando a matriz de pesos espaciais do tipo rainha (*queen*) de segunda ordem. O objetivo foi verificar se havia, e qual o grau, autocorrelação espacial nas variáveis selecionadas. O I de Moran foi calculado para as seis variáveis, conforme pode ser visualizado na tabela a seguir:

Tabela 01 – Índice de Autocorrelação Espacial Global

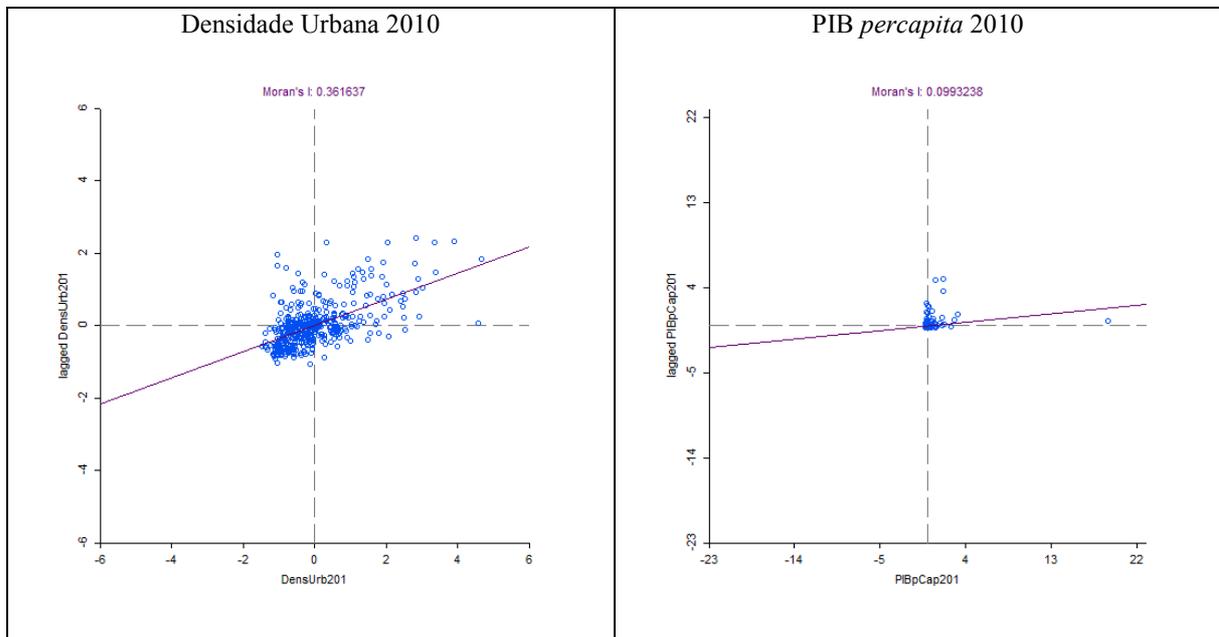
Variáveis	I de Moran Global
Densidade Urbana 2010	0,361637
PIB Percapita 2010	0,099323
Intensidade Energética Urbana 2010	0,077523
Intensidade Energética Residencial 2010	0,10358
Eficiência Energética Urbana 2010	0,102832
Eficiência Energética Residencial 2010	0,125588

Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

A seguir apresenta-se os diagramas de dispersão de Moran, com base nos índices de Moran encontrados para cada variável.

A autocorrelação espacial global para a variável densidade urbana foi 0,3616, indicando a presença de autocorrelação espacial positiva, conforme tabela 02. Ou seja, a densidade urbana dos municípios da Bahia depende e tende a ser semelhante ao valor dessa mesma variável em municípios vizinhos. Já a autocorrelação espacial global para PIB *percapita* foi de 0,09932, que demonstra uma baixa autocorrelação espacial, significando que o PIB *percapita* de um determinado município pouco influencia no PIB *percapita* do município vizinho.

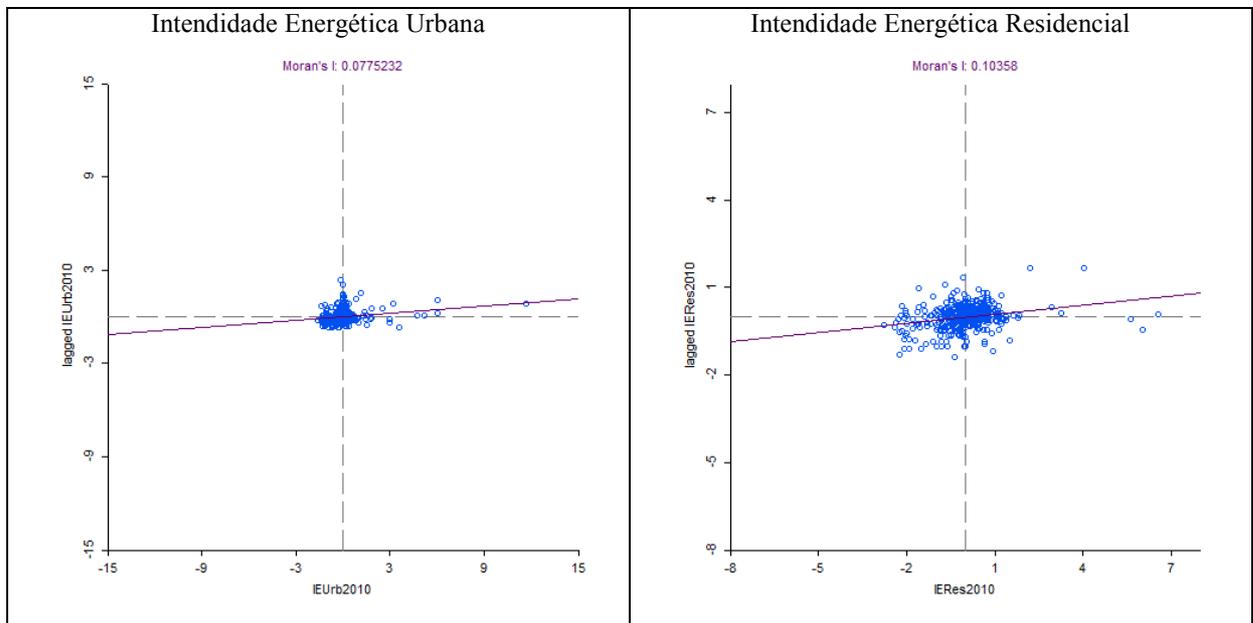
Figura 18- Autocorrelação Espacial Global para Densidade Urbana e PIB *percapita*



Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

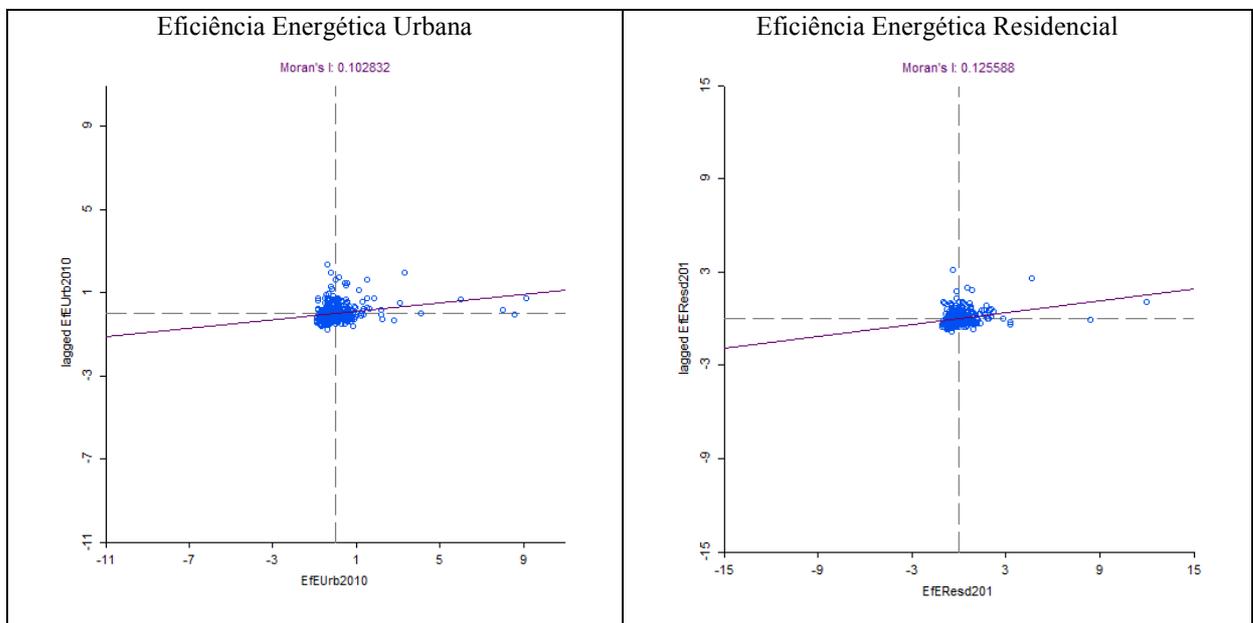
Os índices de Moran para as variáveis de intensidade energética urbana e intensidade energética residencial (Figura 19), foram, respectivamente, 0,0775 e 0,1035. Percebe-se que há uma maior autocorrelação intensidade energética, no campo residencial do que no campo urbano. A autocorrelação espacial da intensidade energética urbana é bastante baixa, o que significa que essa variável pouco influencia ou se parece com a mesma variável de municípios vizinhos. Para a intensidade energética residencial, a variável de um município tende a ter uma maior influência no vizinho.

Figura 19 – Autocorrelação Espacial Global para Intensidade Energética



Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

Figura 20 – Autocorrelação Espacial Global para Eficiência Energética



Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

Os índices de Moran para as variáveis de eficiência energética urbana e eficiência energética residencial foram, respectivamente, 0,10283 e 0,12558. Assim como na intensidade energética, percebe-se que há uma maior autocorrelação na eficiência energética no campo

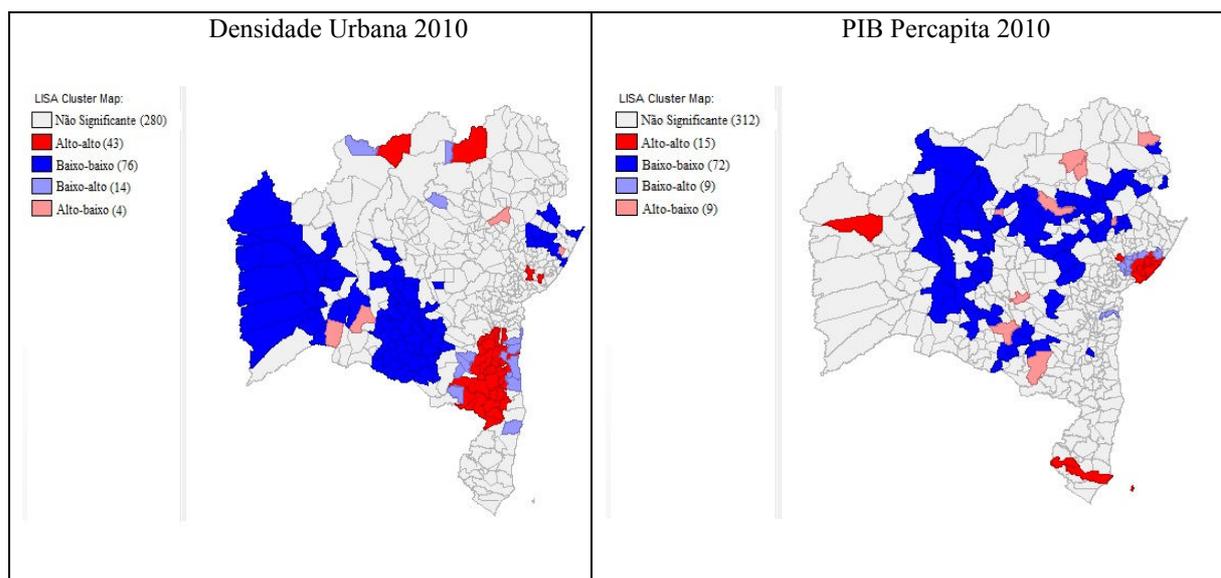
residencial do que no campo urbano. A autocorrelação espacial é positiva para ambos os casos, o que demonstra que essa variável influencia ou se parece com a mesma variável de municípios vizinhos. Para a intensidade energética residencial, a variável de um município tende a ter uma maior influência no vizinho.

5.3 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL LOCAL (INDICADOR LISA)

Nesta seção serão apresentados os resultados do índice de associação local (LISA). Esse teste objetiva identificar as relações locais entre variáveis de densidade urbana, PIB *percapita*, intensidade energética urbana e residencial e eficiência energética urbana e residencial nos municípios da Bahia. A partir do índice local, e utilizando-se dos mesmos dados que geraram a análise anterior, índice global de Moran, foi gerado os mapas de classificação das áreas (Mapa de *cluster* LISA).

Assim como para o indicador global, foi gerado o LISA *Cluster map* para as variáveis densidade urbana, PIB *percapita*, intensidade energética urbana e residencial e eficiência energética urbana e residencial do ano de 2010. Os principais resultados encontram-se a seguir.

Figura 21- Mapa de *cluster* LISA: Densidade urbana e PIB *percapita*

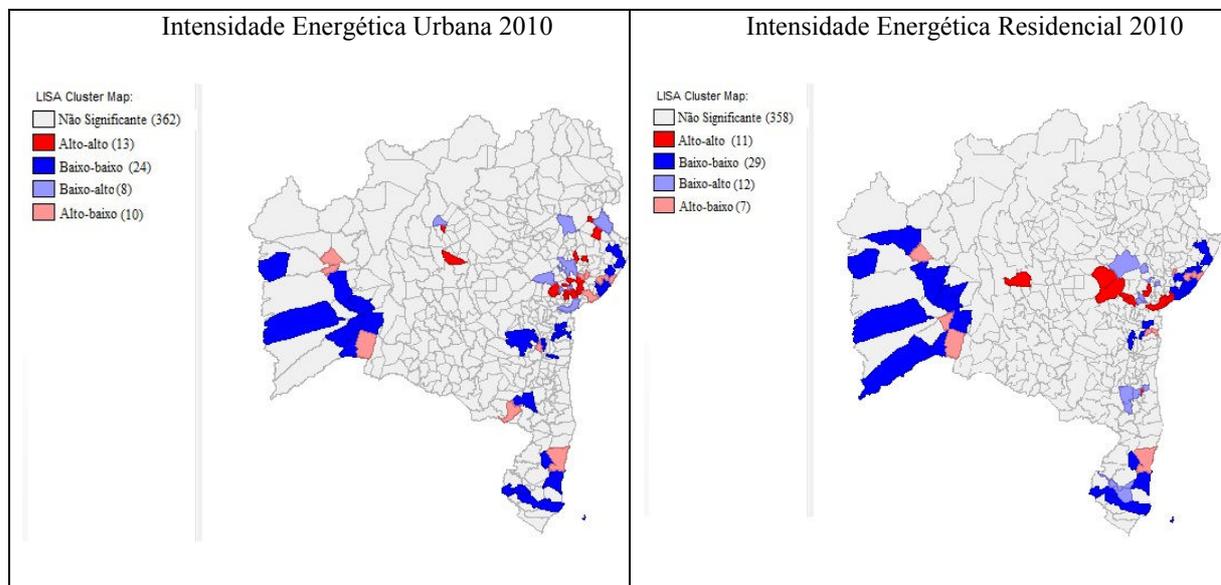


Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

O mapa de *cluster* LISA para a variável densidade urbana, representado na figura 21, apresenta na cor azul (quadrante baixo-baixo) o município cuja densidade urbana encontra-se inferior à média (desvio negativo) e os municípios vizinhos com a densidade também abaixo da média. Para a variável densidade urbana há a formação de alguns *clusters*, a exemplo do oeste baiano, onde grande parte dos municípios estão abaixo da densidade média. Os quadrantes (baixo-alto e alto-baixo) são aqueles que representam o município considerado e a média dos municípios vizinhos com comportamento oposto. Para o quadrante baixo-alto tem-se o município que está com a densidade urbana abaixo da média, porém a média de seus vizinhos encontram-se acima da média. Já o quadrante alto-baixo caracteriza o município que possui preços acima da média, mas a média dos seus vizinhos está abaixo da média global.

Ainda na figura 21, no mapa de *cluster* LISA para a variável PIB *percapita* também há formação de alguns *clusters*, a exemplo da região metropolitana de Salvador, onde os municípios, Camaçari, Candeias, entre outros, tem o PIB *percapita* acima da média do estado (quadrante alto-alto).

Figura 22- Mapa de *cluster* LISA: Eficiência Energética Urbana e Residencial

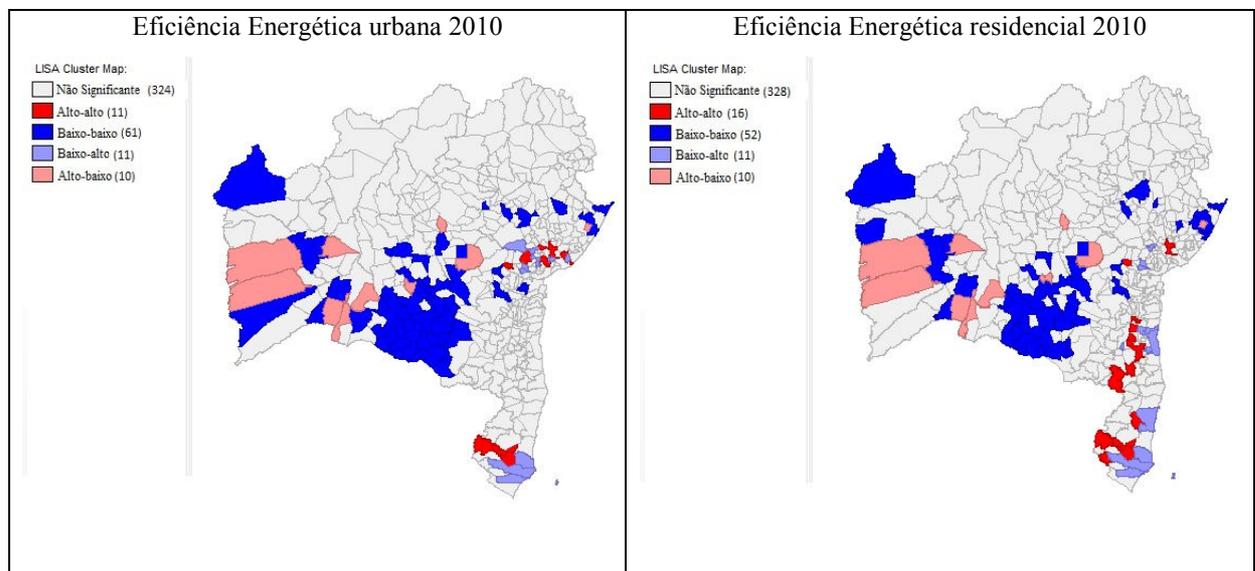


Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

O mapa de *cluster* LISA para a variável intensidade energética urbana, representado pela figura 22, tem poucos dados significantes. Dos 417 municípios, 362 trazem informações não significantes, além disso não apresenta a formação de grandes *clusters*. É possível detectar um

pequeno *cluster* do tipo baixo-baixo, formado pelos municípios: Brejolândia, Baianapolis, Serra Dourada, Santana e Serra do Ramalho. O mapa de *cluster* para intensidade energética residencial tem pouca diferença em relação ao de intensidade energética urbana. Vale ressaltar apenas alguns municípios que estavam com dados não significantes e passaram para o quadrante alto-alto, a exemplo de Itaberaba, Guaratinga e Amargosa, que formam um pequeno *cluster* de municípios que possui intensidade energética acima da média, ou seja, são poucos eficientes, mas a média dos seus vizinhos está abaixo da média global, mais eficientes.

Figura 23- Mapa de *cluster* LISA: Intensidade Energética Urbana e Residencial



Fonte: Elaboração própria utilizando o *software* GeoDa

O mapa de *cluster* LISA para a variável eficiência energética urbana, na figura 23, apresenta a formação de *cluster* com eficiência energética abaixo da média, representado pelo azul, quadrante baixo-baixo, composto por municípios como: Brumado, Caetité, Candido Sales, Tremedal e outros. Ressalta-se que números baixos significam boa eficiência energética. Para o quadrante baixo-alto tem-se o município que está com a eficiência energética abaixo da média, porém a média de seus vizinhos encontra-se acima da média. Há um pequeno *cluster* no sul da Bahia, no quadrante baixo-alto, formado por Nova Viçosa, Caravelas e Alcobaça. Já o quadrante alto-baixo caracteriza o município que possui eficiência energética acima da média, ou seja, são poucos eficientes, mas a média dos seus vizinhos está abaixo da média global, mais eficientes. Exemplos de municípios que estão no quadrante alto-baixo: São Desidério, Correntina, Brejolândia, Cardeal da Silva e Boa Vista Tupiniquim. O mapa de *cluster* para eficiência energética residencial se assemelha ao de eficiência energética urbana.

Vale ressaltar apenas alguns municípios que estavam com dados não significantes e passaram para o quadrante alto-alto, a exemplo de Itororó, Floresta Azul, Almadina, Itaju de Colônia e Santa Cruz da Vitória.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo do presente estudo, que era verificar se havia relação direta entre alta densidade urbana e alta eficiência energética na Bahia, foi alcançado. Contudo, considerando os dados analisados referentes ao ano de 2010, percebeu-se que a realidade dos municípios da Bahia corroborou parcialmente as teorias sobre eficiência energética de Ewing e Rong (2008).

Em suma, os resultados encontrados indicam que a alta densidade urbana não está diretamente associada à alta eficiência energética. Além disso, concluiu-se que, apesar de existir autocorrelação espacial positiva entre as variáveis de intensidade energética e eficiência energética, esse índice não é muito representativo, ou seja, o número de uma dessas variáveis influencia pouco na expressão desta mesma variável no município vizinho. Como consequência, verificou-se que não há formação de grandes *clusters* para a variável intensidade energética na região estudada. Foi detectada apenas a formação de um *cluster* para eficiência energética, composto por municípios que apresentaram números abaixo da média, ou seja, boa eficiência energética. Entretanto, não foi possível vincular esse resultado à densidade urbana.

Ainda sobre os resultados, cabe salientar que as comparações feitas entre a intensidade energética urbana e a intensidade energética residencial sugerem que o setor residencial pode ser alvo de intervenções voltadas para a melhoria da eficiência energética. Tal consideração se deve ao fato de que a eficiência energética urbana mostrou-se superior à eficiência energética residencial em grande parte dos municípios da Bahia.

Apesar de não ter corroborado plenamente a teoria sobre eficiência energética adotada, é importante destacar que a natureza pioneira deste estudo exige que os dados sejam avaliados com cautela. Assim, entende-se que as análises apresentadas aqui apontam apenas uma indicação inicial sobre o comportamento das variáveis apresentadas, sendo necessário que novas investigações sejam desenvolvidas para análises mais conclusivas, com delineamentos de pesquisa que incluam, por exemplo, novos períodos de avaliação e a consideração de outras variáveis intervenientes.

Nesse sentido, é importante destacar algumas limitações deste estudo. No que concerne à região pesquisada, vale ponderar que, por se tratar de um território muito extenso, o estado da Bahia tem municípios com perfis socioeconômicos muito distintos e isso pode ter implicado na distorção da análise de alguns dados. Além disso, deve-se citar que, como essa é uma temática ainda pouco explorada no meio científico, principalmente na literatura brasileira, a discussão sobre os resultados encontrados apresenta-se de forma restrita.

Por fim, enfatiza-se, mais uma vez, que o consumo de energia de forma mais eficiente traz benefícios para toda a sociedade, contribuindo para a formação de economias mais competitivas e para a preservação do meio ambiente. Recomenda-se, portanto, que essa temática continue sendo investigada em futuros estudos. É importante investigar ainda mais como a estrutura urbana e a densidade populacional interferem no consumo energético para que o planejamento urbano, especialmente no que tange à área residencial, desenvolva medidas mais eficazes que viabilizem o consumo de energia elétrica mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Eduardo. **Curso de econometria espacial aplicada**. São Paulo: Alínea, 2012. 498 p.
- BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Final** Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE. 2014
- _____. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Final** Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE. 2013
- _____. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Final** Ano base 2010. Rio de Janeiro: EPE. 2011
- _____. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Final** Ano base 2008. Rio de Janeiro: EPE. 2009
- BARTOLO, Tamara. **Relação entre o índice de intensidade energética e a evolução das emissões de CO2 no Brasil (1980-2005)**. 2008. 62f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Instituto de Economia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2014.
- COELBA- COMPANHIA DE ELETRICIDADE DA BAHIA. **Eficiência energética** Disponível em: <<http://coelba.com.br>>. Acesso em: 20 ago. 2013.
- CONPET - PROGRAMA NACIONAL DE RACIONALIZAÇÃO DO USO DOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml> Acesso em: ago. de 2013.
- GLAESER, Edward; KAHN, Matthew. **The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development**. Cambridge: [S.n.], 2008. 46 f.
- ELETROBRAS. **Relatório anual de sustentabilidade** Disponível em: <<http://www.eletrabras.com>>. Acesso em: 20 mar. 2014.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação da eficiência energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>> Acesso em: 20 ago. 2013.
- EWING, Reid; RONG, Fang. **The impact of urban form on US residential energy use**. Disponível em: <http://www.arch.utah.edu/cgi-bin/wordpress-metroresearch/wp-content/uploads/2013/09/Most%20Cited%20Articles/ewing_rong_article.pdf> Acesso em: 20 set. 2014.
- FUERST, Franz; WEGENER, Michael. **Energy efficiency of buildings: a new challenge for urban models**. Disponível em: <<http://www.landecon.cam.ac.uk/research/real-estate-and->

urban-analysis/merc/merc-pdf-working-papers/fuerst-wegener-dec-2013.pdf> Acesso em: 20 set. 2014.

JANNUZZI, G. de M. 2001. **Aumentando a eficiência nos usos finais de energia no Brasil.** Disponível em: <<http://gilbertomartino.org/publica/>>. Acesso em: 15 de abr. de 2014.

HAN Sun; GREEN Ray; WANG, Mark. 2014. **Towards low carbon cities in China: urban form and greenhouse gas emissions.** Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=CKSQBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Towards+Low+Carbon+Cities+in+China.+Urban+form+and+greenhouse+gas+emissions&ots=eKoTtZscNp&sig=gI4T5qzWTiYG2QNcy9Xo2ByO6YU#v=onepage&q=Towards%20Low%20Carbon%20Cities%20in%20China.%20Urban%20form%20and%20greenhouse%20gas%20emissions&f=false>>. Acesso em: 20 de out. de 2014.

HUI, Sam. **Low energy building design in high density urban cities in renewable energy.** Disponível em: <http://web.hku.hk/~cmhui/re24_627.pdf> Acesso em: 20 de jun. de 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 de maio de 2014.

_____. **Tendências demográficas:** uma análise dos resultados da sinopse preliminar do censo demográfico 2010. Disponível em:

<<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>> Acesso em: 20 de jun. de 2014.

_____. **Sinopse do censo demográfico de 2010**

<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A2E7311D1013003524D7B79E4/IBGE_CENS_O2010_sinopse.pdf>. Acesso em: 20 de jun. de 2014.

LARSON, William; YEZER, Anthony. **The energy implications of city size and density.** Washington: Institute for International Economic Policy, 2014. 36 f.

LOURA, Rejane Magiagi; ASSIS, Eleonora Sad. **Eficiência energética:** o desafio para planejamento urbano. Disponível em: <www.arq.ufmg.br/labcon/?pag=texto&id=50> Acesso em: 20 de ago. de 2014.

MARINS, Karin Regina de Casas Castro. **Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas.** 2010. 798 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2010.

MATTOS, Leonardo Bornacki. **Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970-2002.** 2005. 136 f. Tese (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade de Viçosa, Belo Horizonte. 2005

PROQUE, Andressa Lemes. **O efeito da distribuição espacial do uso da terra e das políticas de transporte sobre a eficiência energética em áreas urbanas.** 2014. 158 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, UFBA, Salvador, 2014.

SANTOS, J. Urbanização e produção de cidades na Bahia: reflexões sobre os processos de estruturação e reestruturação urbana. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 19, n. 2, p. 499-509, jul./set. 2009.

SANTOS, Gervásio Ferreira dos. **Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira**. 2012. 211 f. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, USP, São Paulo, 2012.