UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
IEE – INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PPGE- PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

NATÁLIA DE ASSIS BRASIL WEBER

ANÁLISE INTEGRADA DO SISTEMA ENERGÉTICO URBANO: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE PORTO ALEGRE

SÃO PAULO
2017

NATÁLIA DE ASSIS BRASIL WEBER

ANÁLISE INTEGRADA DO SISTEMA ENERGÉTICO URBANO: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE PORTO ALEGRE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Célio Bermann.

Versão Corrigida

SÃO PAULO
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Weber, Natália de Assis Brasil.
Análise integrada do sistema energético urbano: estudo de caso da cidade de Porto Alegre / Natália de Assis Brasil Weber; orientador : Célio Bermann– São Paulo, 2017.
180f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

1. Planejamento energético. 2. Descentralização energética . 3. Sistema energético urbano. 4. Conservação de energia. I. Título.

Dedico essa dissertação à minha tia Lenora e às minhas avós Beatriz e Ivete. As três partiram para uma nova caminhada deixando uma parte de si e levando uma parte de mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo presente que recebi: a oportunidade de dar prosseguimento à carreira que escolhi e tanto amo.

Sou grata ao IEE e ao meu orientador Prof. Dr. Célio Bermann por terem reconhecido meu trabalho, mesmo sem me conhecer previamente, me admitindo como mestranda dessa instituição que é referência tanto no Brasil quanto fora dela. Ao Prof. Dr. Célio Bermann sou grata, especialmente, por ter aceitado me orientar nesse novo assunto, ainda pouco desbravado, porém de relevante importância. Agradeço, igualmente, a Profa. Dra. Hirdan Costa pela parceria, paciência e auxílio. Seus conselhos foram muito valiosos para tornar minha caminhada mais leve.

À Profa. Dra. Karin Marins e Profa. Dra. Sônia Seger agradeço por terem aceitado contribuir com seus conhecimentos na área. Agradeço, também, aos meus colegas do IEE pela parceria, ajuda e amizade. A alegria que me proporcionaram e as colaborações feitas ao longo destes dois anos foram muito importantes para mim.

Com todo meu coração agradeço a minha tia Bernardete Weber por me acolher na sua casa como uma filha. Serei eternamente grata por isso.

Sou grata à minha família que vibrou feliz por cada etapa galgada nesse mestrado. Afinal, a felicidade só é real quando compartilhada. À minha mãe, especialmente, que além de torcer por mim, ajudou nas correções finais deste trabalho.

Por último, porém não menos importante, agradeço ao meu namorado, parceiro e melhor amigo, Danilo Merlim, pelo amor, pelo apoio nos momentos difíceis e pela celebração à vida nos momentos de felicidades. Agradeço, principalmente, por ter me incentivado a seguir meus sonhos, mesmo sabendo que a saudade iria apertar.

RESUMO

WEBER, Natália de Assis Brasil Weber**. Análise integrada do sistema energético urbano: estudo de caso da cidade de Porto Alegre.** 2017. 180f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Nos dias atuais as cidades são o epicentro de uma transformação energética, pois, são elas as principais consumidoras de matéria e energia. Energia fornecida, em sua maioria, através de um sistema convencional, centralizado e ineficiente. Dessa forma, são nos centros urbanos que poderão ser melhor implementadas estratégicas de eficiência energética e conservação de energia. Contudo, antes que os municípios se comprometam com novas iniciativas políticas e investimentos, o primeiro passo é melhorar a compreensão do sistema energético local. Por conseguinte, o objetivo central desta pesquisa é compreender de forma mais integrada o sistema energético de uma cidade através da aplicação de uma metodologia de análise. O município escolhido como estudo de caso é Porto Alegre, por ser uma cidade que se comprometeu em estabelecer mudanças para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa, contudo, sem ainda possuir um plano de ação definido. A metodologia do trabalho é qualitativa e quantitativa e foi dividida em três etapas principais: a revisão bibliográfica, o desenvolvimento da metodologia de análise do sistema energético urbano e a aplicação da metodologia proposta. A revisão bibliográfica forneceu a base teórica para o desenvolvimento da metodologia de análise do sistema energético urbano. Esta metodologia prevê o levantamento de dados diversos que se complementam e, dessa forma, possibilitam uma análise integrada e mais aprofundada do sistema energético da cidade. Para tanto, a análise do sistema energético foi dividida em três etapas: caracterização municipal, análise da demanda de energia e levantamento da oferta das principais fontes energéticas locais. Para esta última etapa, visando um exercício concreto de avaliação, especificou-se o potencial de produção de eletricidade através do recurso solar. Os principais resultados da análise do sistema energético de Porto Alegre, entre os anos 2005 e 2014, destacam que o consumo de energia cresceu oito vezes mais que o aumento populacional e menos que a metade do PIB da cidade. Igualmente, no mesmo período, a frota de veículos, assim como o consumo de gasolina, aumentou 13 vezes mais que a população. Entre os setores econômicos analisados o setor transporte foi responsável, em 2014, pelo consumo de 60% da demanda final de energia da cidade. Nesse ano, a fonte de energia mais consumida foi a eletricidade, representando 28,1% do consumo final. Ainda analisando os dados de 2014, verificou-se que o consumo de eletricidade per capita de Porto Alegre pode ser considerado alto, 2,58 MWh/per capita, se igualando ao do Brasil e ao de alguns países desenvolvidos. Em relação ao potencial de produção de eletricidade, a partir da fonte solar, estimou-se um potencial de 2.549 GWh/ano, considerando todo o território da cidade, e de 772 GWh, considerando apenas o território que possuem edificações, aproximadamente 30% da cidade. Isto significa que se todos os consumidores residenciais e comerciais produzissem sua própria energia poderiam ser gerados 2.892 GWh por ano em Porto Alegre. Essa energia seria capaz de suprir 75,8% de toda a demanda de eletricidade da cidade em 2014. Ao final, ressaltou-se a importância de articular o planejamento energético ao planejamento urbano e ao plano de mobilidade urbana, uma vez que o sistema energético urbano está relacionado com os demais.

Palavras-chave: Sistema Energético Urbano, Planejamento Energético Descentralizado, Planejamento Energético Municipal, Transição Energética Urbana

ABSTRACT

WEBER, Natália de Assis Brasil Weber**. Integrated analysis of the urban energy system: case study of the city of Porto Alegre.** 2017. 180f. Dissertation (Master of Science) - Graduate Program in Energy, University of São Paulo, São Paulo, 2017.

Nowadays cities at are the epicenter of an energetic transformation. Today, they are the main consumers of matter and energy. Most of that energy supplied through a conventional, centralized and inefficient system. Thus, it is in urban centers that strategic energy efficiency and energy conservation can be better implemented. However, before municipalities commit to new policy initiatives and investments, the first step is to improve understanding of the local energy system. Therefore, the central objective of this research is to understand in a more integrated way the energy system of a city through the application of a methodology of analysis of an urban energy system. The municipality chosen as a case study is Porto Alegre. It was chosen because is a city that has committed itself to establishing changes to reduce emissions of greenhouse gases, however, it does not have a defined plan of action. The methodology of the work is qualitative and quantitative and was divided into three main stages, among them: literature review, development of the methodology of urban energy system analysis, and application of the proposed methodology. The literature review provided the theoretical basis for the development of the methodology of analysis of the urban energy system. This methodology determines the collection of diverse data that complement each other and, thus, enable an integrated and more in-depth analysis of the city's energy system. In order to do so, the analysis of the energy system was divided into three stages: municipal characterization, analysis of the energy demand and survey of the supply of the main local energy sources. For this last stage, aiming a specific evaluation exercise, was specified the potential of electricity production through the solar resource.The main results of the analysis of the energy system of Porto Alegre, between 2005 and 2014, highlight that energy consumption grew eight times more than the population increase and less than half of the city's GDP. Also, in the same period, the car fleet grew 13 times more than the population. Among the economic sectors analyzed, the transportation sector was responsible for the consumption of 60% of the final energy demand of the city, in 2014. In that year, the most consumed energy source was electricity, representing 28.1% of final consumption. The per capita electricity consumption in Porto Alegre was considered high, 2.58 MWh/per capita, which equals that of Brazil and some developed countries. Regarding the potential for electricity production, it was determined a potential of 2,549 GWh/year (considering the entire territory of the city), and 772 GWh (considering only the territory that have buildings, approximately 30% of the city). This means that if all residential and commercial consumers produced their own energy could generate 2,892 GWh per year in Porto Alegre. This energy would be able to supply 75.8% of all city electricity demand. In the end, it was emphasized the importance of unifying the energy planning to the urban planning and to the urban mobility plan, since the urban energy system is related to both.

Keywords: Urban Energy System, Decentralized Energy Planning, Municipal Energy Planning, Urban Energy Transition

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo simplificado do cálculo das perdas de energia elétrica no sistema transmissão e distribuição de energia elétrica 27
Figura 2 – Diagrama da metodologia de análise do sistema energético urbano 31
Figura 3 – Principais diferenças entre o planejamento energético centralizado e descentralizado 45
Figura 4 – Abordagens de modelagem *top-down* e *bottom-up* 56
Figura 5 – Representação gráfica dos diferentes potenciais de levantamento da oferta de energia 64
Figura 6 - Diagrama da caracterização municipal utilizada na pesquisa 67
Figura 7 – Diagrama de um balanço energético 69
Figura 8 - Modelo de simulação do potencial técnico 77
Figura 9 - Mapa da localização de Porto Alegre no Rio Grande do Sul e mapa da cidade com a subdivisão dos bairros 84
Figura 10 - Mapa da vegetação e da ocupação do município de Porto Alegre, ilustrando a distribuição espacial das classes mapeadas 85
Figura 11 – Mapa da expansão urbana sobre o modelados de relevo no município de Porto Alegre 88
Figura 12 - IDHM de Porto Alegre e das regiões que formam o município no ano de 2010 .. 92
Figura 13 - Percentual de domicílios com energia elétrica da companhia distribuidora sobre o total de domicílios 93
Figura 14 - Zoneamento de uso parcial do 1º PDDUA após alterações 98
Figura 15 – Fluxo de veículos, pontos críticos de fluidez e de segurança da cidade de Porto Alegre 99
Figura 16 - Consumo de eletricidade per capita no mundo, em 2014 108
Figura 17 - Relação entre os preços médios de revenda de etanol hidratado e de gasolina comum, por capitais, em 2014 114
Figura 18 - Média anual da irradiação solar no plano inclinado na cidade de Porto Alegre . 129
Figura 19 - Média sazonal irradiação incidente no plano inclinado na cidade de Porto Alegre 130
Figura 20 - a) Localização no mapa de Porto Alegre dos três locais simulados no pvPlanner; (b) Imagem 3D mostrando as características típicas da ocupação antrópica da região central da cidade; (c) imagem 3D mostrando as características típicas da ocupação antrópica da região

Norte e Noroeste da cidade; (d) imagem 3D as características típicas da ocupação antrópica da região Sul da cidade. 132
Figura 21 - Caminho solar anual e horizonte topográfico referente a simulação da região mista 133
Figura 22 - Caminho solar anual e horizonte topográfico referente a simulação da região norte 134
Figura 23 - Caminho solar anual e horizonte topográfico referente a simulação da região sul 134
Figura 24 - Representação gráfica da irradiação global diária e difusa ao longo do ano e a temperatura média ambiente simuladas para a cidade de Porto Alegre..... 136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de temperatura para cada tipo de módulo usado no pvPlanner 79
Tabela 2 - Variação das perdas CC esperadas e tamanho dos sistemas..... 79
Tabela 3 - Faixa de perdas CA esperados e tamanho dos sistemas fotovoltaicos 80
Tabela 4 - Subdivisão das perdas e incertezas do pvPlanner para um sistema fotovoltaico de pequeno porte 81
Tabela 5 - Principais aspectos demográficos do município de Porto Alegre de 1960 à 2015 . 91
Tabela 6 - Estabelecimentos formais do setor comercial e de serviços cadastrados na PMPA em 2011 96
Tabela 7 - Estabelecimentos formais do setor industrial cadastrados na PMPA em 2011 96
Tabela 8 - Balanço energético municipal de Porto Alegre para o ano de 2014 em unidades originais..... 104
Tabela 9 - Balanço energético municipal de Porto Alegre para o ano de 2014 em 10^3 tep... 105
Tabela 10 - Média anual e sazonal da irradiação solar no plano inclinado por dia da cidade de Porto Alegre..... 130
Tabela 11 - Parâmetros dos locais escolhidos e usados como inputs no pvPlanner..... 133
Tabela 12 - Irradiação global horizontal anual para cada uma das regiões simuladas 135
Tabela 13 - Irradiação global mensal (Gim) e diária (Gid), irradiação difusa diária (Did) e as perdas de irradiação global por sombreamento topográfico de terreno para o plano inclinado (Shloss) em %..... 137
Tabela 14 - Energia inicial produzida pelo sistema fotovoltaico nas três regiões simuladas 138
Tabela 15 - Taxa de desempenho e perdas totais do sistema da simulação feita para região mista..... 139
Tabela 16 - Taxa de desempenho e perdas totais do sistema da simulação feita para região norte 139
Tabela 17 - Taxa de desempenho e perdas totais do sistema da simulação feita para região sul 140
Tabela 18 - Parâmetros usados para avaliação financeira..... 142
Tabela 19 - Custo total, eletricidade entregue e fluxo de caixa anual do setor residencial e comercial para as três localidades simuladas 142
Tabela 20 - Payback simples, VPL e TIR dos setores residencial e comercial para as três localidades simuladas neste estudo..... 143

Tabela 21 - BEM de Porto Alegre, ano 2013, em unidades originais 171
Tabela 22 - BEM de Porto Alegre, ano 2013, em 10^3 tep..... 172
Tabela 23 - BEM de Porto Alegre, ano 2012, em unidades originais 172
Tabela 24 - BEM de Porto Alegre, ano 2012, em 10^3 tep..... 173
Tabela 25 - BEM de Porto Alegre, ano 2011, em unidades originais 173
Tabela 26 - BEM de Porto Alegre, ano 2011, em 10^3 tep..... 174
Tabela 27 - BEM de Porto Alegre, ano 2010, em unidades originais 174
Tabela 28 - BEM de Porto Alegre, ano 2010, em 10^3 tep..... 175
Tabela 29 - BEM de Porto Alegre, ano 2009, em unidades originais 175
Tabela 30 - BEM de Porto Alegre, ano 2009, em 10^3 tep..... 176
Tabela 31 - BEM de Porto Alegre, ano 2008, em unidades originais 176
Tabela 32 - BEM de Porto Alegre, ano 2008, em 10^3 tep..... 177
Tabela 33 - BEM de Porto Alegre, ano 2007, em unidades originais 177
Tabela 34 - BEM de Porto Alegre, ano 2007, em 10^3 tep..... 178
Tabela 35 - BEM de Porto Alegre, ano 2006, em unidades originais 178
Tabela 36 - BEM de Porto Alegre, ano 2006, em 10^3 tep..... 179
Tabela 37 - BEM de Porto Alegre, ano 2005, em unidades originais 179
Tabela 38 - BEM de Porto Alegre, ano 2005, em 10^3 tep..... 180

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Crescimento demográfico de Porto Alegre desde 1940 até 2015 90
Gráfico 2 - PIB per capita de Porto Alegre desde 1999 até 2013 94
Gráfico 3 - PIB per capita Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil 95
Gráfico 4 - Evolução do consumo de energia por fonte do município de Porto Alegre desde 2005 até 2014 106
Gráfico 5 - Evolução do consumo de energia per capita do município de Porto Alegre e no estado do Rio Grande do Sul desde 2005 até 2014 107
Gráfico 6 - Evolução do consumo de energia e do PIB do município Porto Alegre no período de 2005 até 2014 108
Gráfico 7 - Evolução da intensidade energética no Brasil, no estado do Rio Grande do Sul e em Porto Alegre, entre os anos 2005 e 2013 109
Gráfico 8 - Evolução do consumo de energia por setor dos anos 2005 à 2014 111
Gráfico 9 - Consumo de energia por fonte do setor transporte desde 2005 à 2014 112
Gráfico 10 - Frota de veículos do município de Porto Alegre em 2014 113
Gráfico 11 - Relação do número de habitantes pelo número de veículos registrados 115
Gráfico 12 - Evolução do consumo de QAV no período de 2005 a 2014 116
Gráfico 13 - Movimento anual das aeronaves, passageiros e cargas aéreas e correios no aeroporto Salgado Filho no período de 2006 a 2014 117
Gráfico 14 - Consumo de QAV pelo número de aeronaves que pousaram e decolaram e pelo número de passageiros que embarcaram e desembarcaram no Aeroporto Internacional Salgado Filho, nos anos 2006 a 2014 118
Gráfico 15 - Consumo de eletricidade por nº de domicílios no município de Porto Alegre no período de 2005 à 2014 120
Gráfico 16 - VAB setor serviços e demanda de energia no período de 2005 à 2014 121
Gráfico 17 - Consumo de eletricidade e consumo pelo número de consumidores, no período de 2005 à 2014 122
Gráfico 18 - Percentual de consumo nos principais subsetores do setor industrial no ano de 2014 123
Gráfico 19 - Comparação da matriz energética do setor industrial de Porto Alegre dos anos 1990, 2005 e 2014 124

Gráfico 20 – Evolução do consume de energia no setor público do município de Porto Alegre nos anos 2005 a 2014 125
Gráfico 21 - Consumo de eletricidade dos órgãos públicos que integram a PMPA em 2013.. 126
Gráfico 22 - Irradiação global diária e média anual das regiões estudadas ao longo de um ano. 137
Gráfico 23 - Taxa mensal de energia total produzida nas três regiões estudadas 138
Gráfico 24 - Variação do VPL considerando diferentes taxas de desconto para o setor residencial 144
Gráfico 25 - Variação do VPL considerando diferentes taxas de desconto para o setor comercial 144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Subsistemas que compõe um sistema energético urbano e os elementos relevantes para avaliação do desempenho energético 53
Quadro 2 - Matriz do Balanço Energético Municipal 70
Quadro 3 - Energia Primária 71
Quadro 4 - Energia secundária 71
Quadro 5 - Total geral 72
Quadro 6 - Consumo final 72
Quadro 7 - Ajustes 73
Quadro 8 - Classes e subclasses da vegetação e da ocupação do município de Porto Alegre . 86
Quadro 9 - Caracterização da expansão urbana em relação aos modelados do relevo 89

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanço Energético Municipal
CENERGS	Comissão Estadual de Energia
CGPEM	Comissão de Gerenciamento e Planejamento Energético Municipal
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
DHD	Irradiação Difusa Diária
DMAE	Departamento de Água e Esgoto
ESD	Produção Específica de Energia Diária
ESHARE	Percentagem Mensal de Energia Total
ESM	Produção De Energia Específica Mensal
FEE	Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHD	Irradiação Global Diária
GHM	Irradiação Global Mensal
GIS	Geographical Information System
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
ICLEI	Local Governments for Sustainability
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IEA	Internacional Energy Agency
IPCC	Intergovernamental Panel of Climate Change
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
kWp	Kilowatt-pico
LEAP	Long-range Energy Alternative Planning
MW	Megawatt
ONU	Organização das Nações Unidas
PDDUA	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental
PED	Planejamento Energético Descentralizado

PEM	Planejamento Energético Municipal
PIB	Produto Interno Bruto
PIR	Planejamento Energético Integrado
PLAMUDES	Planejamento Municipal Integrado Visando ao Desenvolvimento Sustentável
PMPA	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
PR	Performance Ratio (taxa de desempenho)
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QAV	Querosene de Aviação
SMIC	Secretaria Municipal da Produção, Indústria e Comércio
SMOV	Secretaria Municipal de Obras e Viação
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UN	United Nations
VAB	Valor Adicionado Bruto
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20
1.1 Justificativa 24
1.2 Objetivos 29
1.2.1 Objetivo Geral 29
1.2.2 Objetivos Específicos 30
1.3 Metodologia 30
1.4 Estrutura da dissertação 32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 33
2.1 A Transição Energética 33
2.1.1 A importância das cidades na transição energética 37
2.1.2 Transição nas cidades brasileiras 40
2.2 Planejamento Energético 43
2.2.1 Planejamento energético centralizado e descentralizado 44
2.2.2 Planejamento energético descentralizado: um apanhado geral 46
2.3 Análise do sistema energético urbano: histórico, definição e modelos 48
2.3.1 Breve histórico no Brasil 49
2.3.2 Definindo um sistema energético urbano 51
2.3.3 Modelos de sistema energético urbano 54
2.3.4 Modelos pelo lado da demanda municipal ou urbana 58
2.3.4 Levantamento de potencial de oferta de energia renovável 61
2.4 Considerações finais do capítulo 65
3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DO SISTEMA ENERGÉTICO URBANO 66
3.1 Caracterização do município 66
3.1.1 Dados ambientais 67
3.1.2 Dados sociais 67

3.1.3 Dados econômicos 67
3.1.4 Regulação vigente 68
3.2 Análise da demanda de energia: modelo balanço energético municipal 68
3.2.1 Levantamento de dados 69
3.2.2 Sistematização dos dados 69
3.2.3 Conversão dos fatores físicos 73
3.2.4 Análise setorial 74
3.3 Levantamento do potencial de energia 75
3.3.1 Potencial teórico 75
3.3.2 Potencial técnico 75
3.3.3 Potencial realizável 82
4 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO SISTEMA ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE 83
4.1 Caracterização municipal 83
4.1.1 Aspectos ambientais 84
4.1.1.1 Localização 84
4.1.1.2 Vegetação e ocupação territorial 85
4.1.1.3 Expansão da ocupação urbana 87
4.1.1.4 Aspectos demográficos 90
4.1.1.5 Aspectos climáticos 91
4.1.2 Dados sociais 92
4.1.2.1 Indicadores de desenvolvimento social 92
4.1.2.2 Infraestrutura do município 93
4.1.3 Dados econômicos 94
4.1.4 Aspectos regulatórios 97
4.1.4.1 O plano diretor e a ocupação urbana do município de Porto Alegre 97
4.1.4.2 PDDUA e o Plano de Mobilidade Urbano 98

4.1.4.3 PDDUA e o planejamento energético 100
4.1.4.4 Produção de energia distribuída 101
4.1.4.5 Eficiência energética 102
4.2 Análise da demanda de energia do município de Porto Alegre: modelo BEM 103
4.2.2 BEM de Porto Alegre do ano 2014 103
4.2.3 Perfil energético 106
4.2.3 Análise setorial 110
4.2.3.1 Setor transporte 111
4.2.3.2 Setor residencial 119
4.2.3.3 Setor comercial 120
4.2.3.4 Setor industrial 122
4.2.3.5 Setor público 124
4.2.3.6 Setor agropecuário 127
4.2.3.7 Setor energético 128
4.3 Avaliação do potencial de produção de energia solar fotovoltaica 128
4.3.1 Potencial teórico 129
4.3.2 Potencial técnico 131
4.3.2.1 Irradiação global horizontal anual e a temperatura média 135
4.3.2.2 Irradiação solar global no plano inclinado 136
4.3.2.3 Energia inicial produzida pelo sistema fotovoltaico 138
4.3.2.4 *Performance ratio* e perdas totais do sistema 139
4.3.3 Potencial realizável 141
4.4 Análise dos resultados 145
5 CONCLUSÕES 151
5.1 Recomendações para trabalhos futuros 154
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 156
APÊNDICE A – Balanço Energético Municipal de 2005 a 2013 171

1 INTRODUÇÃO

O século XXI está provando ser o século da urbanização. O ponto de inflexão foi em 2007, quando mais da metade da população mundial passou a viver nas cidades (UN-HABITAT, 2015). Isso não é só porque cada vez mais pessoas vivem nas cidades é também por causa da importância estratégica das cidades em relação ao desenvolvimento sustentável (McCORMICK, 2016). No Brasil, em 2010, 84% da população já vivia em centros urbanos (INSTITUTO BRASILEITO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010) e, segundo as Nações Unidas (2014), o aumento da população urbana nas próximas décadas ocorrerá principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, China, Irã e México (UNITED NATIONS, 2014).

As cidades, hoje, ocupam apenas 2% da superfície terrestre. Contudo, seus habitantes consomem 75% dos recursos energéticos do mundo (GAGO et al., 2013). As principais atividades que mais consomem energia nos centros urbanos são o setor transporte e as edificações (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Em 2012, os transportes representaram metade do consumo mundial de petróleo e cerca de 20% da utilização mundial de energia, dos quais cerca de 40% são utilizados apenas no transporte urbano (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2013). Se espera, num futuro próximo, que as emissões anuais globais de transporte urbano sejam mais do que dobradas para quase 1 bilhão de toneladas anuais de CO_2eq[1], sendo que 90% deste crescimento das emissões de transporte urbano deverá vir de viagens motorizadas privadas (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

Embora um fornecimento de energia adequado e fiável e um ambiente limpo e saudável contribuam para o bem-estar do homem, as questões energéticas nas cidades são parcialmente abordadas tanto no conceito tradicional de planejamento energético quanto no planejamento urbano dos municípios. Isso é irônico, dado o impacto prejudicial sobre a saúde e bem-estar que os sistemas de energia convencional podem ter sobre a população de uma cidade (TODOC, 2008). Segundo UN-HABITAT (2015), o modo como se planeja, constrói e

[1] "As emissões apresentadas na unidade de Dióxido de Carbono Equivalente (CO_2eq), referem-se às emissões de GEE utilizando como métrica de equivalência, o Potencial de Aquecimento Global (GWP), em um horizonte de tempo de 100 anos. Considerando que para diferentes fontes de consultas é possível identificar diferenças nos GWP, os fatores aplicados nesta estimativa foram obtidos no IPCC (1996)" (CETESB, 2011).

gerencia as cidades agora determinará o resultado dos esforços para alcançar um desenvolvimento melhor planejado amanhã. Como tal, as cidades são ao mesmo tempo o problema e a solução para responder aos desafios deste início de século (BLANCO; ALBERTI, 2009).

Ao longo da última década, a pesquisa acadêmica ajudou a consolidar a compreensão do papel das cidades no enfrentamento dos desafios relacionados à oferta e ao uso da energia. Tanto no debate acadêmico quanto na prática, os centros urbanos têm sido reconhecidos como um local importante de atuação para uma transformação na forma como se usa a energia. Tratando sobre o tema, autores já alertaram para a relação entre as cidades e as mudanças climáticas (BETSILL; BULKELEY, 2007; HAMMER et al., 2011), apontaram as principais políticas sociais e técnicas adotadas para o planejamento das cidades no contexto da transição energética (COUTARD; RUTHERFORD, 2010; RUTHERFORD; COUTARD, 2014), bem como os desafios e as oportunidades da transição energética (ARAÚJO, 2014; MCLELLAN; CHAPMAN; AOKI, 2016). Além desses, alguns autores salientaram os diferentes modelos para análise do sistema energético urbano (FARZANEH et al., 2016; HIREMATH; SHIKHA; RAVINDRANATH, 2007) e, também, as potencialidades de geração de energia renovável nas cidades (CLANCY et al., 2008; GREWAL; GREWAL, 2013). Todos os trabalhos descritos, apesar de abordarem temas distintos, estão centrados na questão energética e urbana.

Além dessas pesquisas, existe uma série de organizações que conectam cidades, profissionais da área, empresas e tomadores de decisão através de uma rede de contatos mundial e com diretrizes para projetos energéticos locais disponibilizados publicamente. Seyfang, Park e Smith (2013) atentam para o fato de que estas redes podem sub-representar ou sobre-representar o setor, uma vez que, por vezes são focados em um tipo específico de atividade ou são autorrelatados sem verificação. No entanto, estas organizações dão uma indicação da escala das atividades relacionadas ao uso da energia até então realizadas nas cidades, alguns exemplos são: o ICLEI (Local Governments for Sustainability[2]) que nos últimos 25 anos atuou em mais de 1.500 estados, metrópoles e cidades de pequeno e médio porte em mais de 100 países e impactou em mais de 25% da população urbana global (ICLEI, s.d.), no Brasil esteve presente em 28 cidades, entre elas Porto Alegre; o Transition Network Movement[3] que possui 10 anos de experiência e relatou atividades em 1.400 comunidades em 50 países

[2] Tradução nossa: Governos Locais para a Sustentabilidade.
[3] Tradução nossa: Movimento cidades em transição.

diferentes (TRANSITION NETWORK, 2016); e, o Global Covenant of Mayors for Climate & Energy[4] que reuni mais de 7000 autoridades locais e regionais em 57 países para alcançar e ir além de seus próprios objetivos nacionais de clima e energia (COVENANT OF MAYORS, 2016).

O primeiro passo, antes que as cidades se comprometam com novas iniciativas políticas e investimentos, é melhorar a compreensão do sistema energético local. Considerando o uso da energia nas cidades como um sistema que integra diferentes relações tanto de oferta e demanda quanto de morfologia urbana e mobilidade. Consequentemente, é necessária uma grande quantidade de informações para descrever os diferentes aspectos do processo de planejamento de um sistema energético de uma cidade (JEBARAJ; INIYAN, 2006). Dessa forma, uma análise integrada do sistema energético urbano[5] se torna imprescindível. Como uma solução viável, visando integrar os diferentes aspectos que envolvem a análise de um sistema energético urbano, há diferentes modelos. De forma abrangente, um modelo de um sistema de energia urbano cumpre duas finalidades principais: 1) compreender o estado atual do sistema; 2) ajudar a orientar decisões que influenciam a sua evolução futura (SEMANCO, 2014).

Há uma miríade de opções de tecnologia e modelos no lado da oferta e da demanda que podem ser consideradas para analisar sistemas urbanos. Keirstead, Samsatli e Shah (2010) ressaltam que tais modelos nunca irão fornecer uma resposta definitiva aos tomadores de decisão, pois tais tecnologias são incompletas e os debates sobre políticas devem considerar outras formas de conhecimento ao lado de análises numéricas. Apesar disso, são uma contribuição importante para a sustentabilidade urbana. Farzaneh, Doll e Puppim de Oliveira (2016) acrescentam que uma estrutura que ajuda a planejar a transição de energia, a fim de prosseguir o desenvolvimento de sistemas de energia de baixas emissões e propor mais caminhos de eficiência energética para as cidades é um importante campo de pesquisa em sistemas de energia urbana.

Pensando em contribuir com as discussões já existentes, este trabalho pretende compreender o uso da energia nas cidades através do desenvolvimento e aplicação de uma metodologia de

[4] Tradução nossa: Aliança Global de Prefeitos pelo Clima e Energia.
[5] Como o termo urbano possui diferentes definições optou-se por adotar nessa pesquisa a definição que considera como urbano tudo o que está dentro dos limites administrativos do município mais os fluxos de energia a montante facilmente rastreáveis, como o consumo de eletricidade (KEIRSTEAD; JENNINGS; SIVAKUMAR, 2012b).

análise do sistema energético urbano. A relevância deste estudo está no fato de empregar uma metodologia de análise de sistema energético urbano que seja capaz de avaliar a demanda de energia e a oferta de energia renovável considerando a realidade local. Salientando que esta compreensão também pode ser entendida como um diagnóstico energético[6] do município.

O município escolhido para servir de estudo de caso foi Porto Alegre, por ser uma cidade que se comprometeu em estabelecer mudanças para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa. Contudo, ainda não possui um plano de ação definido (PORTO ALEGRE RESILIENTE, 2016). Quando solicitada, a Prefeitura de Porto Alegre aceitou participar dessa pesquisa, disponibilizando as informações necessárias e ainda permitindo o acesso desta pesquisadora às atividades da Comissão de Gestão do Planejamento Energético Municipal[7] (CGPEM). A partir dessa interação entre a pesquisadora e a CGPEM foi verificado que, para realizar o plano de ação municipal, seria necessário primeiro identificar a demanda de energia na cidade, tal como, averiguar de forma mais precisa o potencial de geração de energias renováveis.

Dessa forma, com o intuito de contribuir tanto para o Planejamento Energético Municipal (PEM) de Porto Alegre quanto para o desenvolvimento da pesquisa acadêmica sobre o tema, este trabalho apresenta inicialmente uma revisão bibliográfica sobre a transição energética e a relevância das cidades nessa transição. Em seguida, aborda os principais aspectos sobre os sistemas energéticos urbanos e os modelos adotados nestes. Num segundo momento, será apresentada a metodologia de análise adotada e, por fim, o estudo de caso. A conclusão irá agregar os resultados obtidos da análise da oferta e da demanda de energia juntamente com aspectos obtidos na caracterização do município.

---

[6] "Um diagnóstico energético se baseia num plano estruturado de economia energética, também pode ser interpretado como uma radiografia ao desempenho energético de uma área específica, como por exemplo, um prédio comercial, uma instalação industrial ou de uma localidade delimitada. Seu objetivo é a caracterização energética da instalação, permitindo conhecer quando, onde e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos sistemas e verificando desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias encontradas (WEBER, 2014, p. 22)."

[7] A CGPEM foi criada em 2011 a partir do Decreto Municipal nº 17.081 que declara: "Considerando o disposto no art. 18, incs. IV e V, da Lei Complementar nº 434, de 1º de dezembro de 1999, ao estabelecer o Programa de Conservação de Energia, que propõe ações com vistas a garantir melhor qualidade de vida na cidade, com o mínimo de consumo energético e a menor agressão ao ambiente, envolvendo a elaboração do Plano de Gerenciamento de Energia e o Programa de Gestão Ambiental, que propõe a elaboração do Plano de Gestão Ambiental, contendo diretrizes gerais de atuação consolidadas a partir dos planos setoriais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana, gerenciamento de resíduos sólidos e de energia e do plano de proteção ambiental, visando estabelecer prioridades de atuação articuladas, qualificando soluções e reduzindo custos operacionais no âmbito das bacias hidrográficas'" (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2011). O objetivo da CGPEM é de subsidiar a elaboração do Plano Energético Municipal (PEM), de criar programas, de formular propostas e de desenvolver projetos e atividades que visem a eficiência energética e a utilização de energias alternativas e renováveis (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2011).

1.1 Justificativa

Atualmente, 46% da população do mundo vive da subsistência da terra e as demais 54% vive em áreas urbanas total (WORLD BANK, 2017). Somente a população urbana é responsável pelo consumo de dois terços da energia primária global (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Para 2050, espera-se que a população mundial chegue a 5,4 bilhões de pessoas e que 66% dessas viverão nas cidades (UNITED NATIONS, 2014). Simultaneamente, a previsão é que com a duplicação da população urbana do mundo resultará numa triplicação no consumo de recursos naturais (GIZ; ICLEI, 2014).

As populações em todo o mundo estão expostas às emissões antrópicos de gases. Particularmente nas cidades, estão expostas a altos níveis de poluição do ar exterior, principalmente provenientes do transporte, indústria e usinas de geração de energia (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015). Em média, o consumo energia nas cidades de todo o mundo são responsáveis por 70% das emissões dos gases de efeito estufa diretos e indiretos[8] (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Conforme a Organização Mundial de Saúde (OMS) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015), quase 90% da população urbana global está exposta ao ar que não cumpre os padrões de qualidade da OMS, consequentemente, é estimado que a poluição do ar seja responsável por 3,7 milhões de mortes prematuras, anualmente. Os impactos na saúde pública causados pela poluição atmosférica resultam principalmente da inalação e exposição a estes gases, entre eles os mais prejudicais a saúde: material particulado, monóxido de carbono e o dióxido de enxofre (BOLLEN et al., 2009; GOUVEIA et al., 2003).

Considera-se que muitas vezes as emissões de partículas que causam a poluição do ar e os gases de efeito estufa que causam mudanças climáticas são estreitamente correlacionadas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015). Dessa forma, as consequências das atividades que impulsionam tanto as alterações climáticas quanto as que causam a poluição atmosférica local oferecem uma importante oportunidade para promover políticas que abarquem ambas. Isto é, políticas que protejam o sistema climático ao mesmo tempo em que tragam melhorias

[8] Os GEE diretos são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbono (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6). Os GEE Indiretos são: óxido de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e os compostos orgânicos voláteis (VOC) (CETESB, 2011). Os GEE indiretos não contribuem diretamente com as mudanças climáticas, porém causam danos na saúde e no sistema ecológico local.

na qualidade do ar e na saúde humana (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015). Segundo Bollen et al. (2009), a principal ligação entre estas duas atividades são as emissões dos gases provenientes da combustão de combustíveis fósseis.

Logo, a principal opção para reduzir as emissões tanto dos GEE quanto dos outros gases que afetam a saúde humana é a substituição dos combustíveis fósseis pelas energias renováveis (BOLLEN et al., 2009). Acrescenta-se a essa as técnicas de conservação e de eficiência energética que também cumprem um papel fundamental na redução das emissões antrópicas dos gases. Lovins (2013, p. 11-13) enfatiza que: "A melhor e mais barata 'fonte' de energia é, em primeiro lugar, precisar menos dela, convertendo-a, fornecendo-a e usando-a com mais eficiência".

Como mencionado anteriormente, as principais atividades que mais consomem energia nas cidades são o setor transporte e as edificações. Levando em conta que menos de 0,5% da energia do combustível de um automóvel moderno típico move efetivamente o motorista. O restante é perdido no sistema de propulsão, nos momentos em que o carro está parado ou brecando e no acionamento dos acessórios (LOVINS, 2013). Há oportunidades, portanto, para ganhos de eficiência tanto no desenvolvimento da tecnologia automobilística quanto no seu uso final. A eficiência energética no transporte urbano pode ser entendida como a maximização da atividade de viagem com um consumo mínimo de energia através de combinações de planejamento do uso da terra, diversificação dos modais de transporte, intensidade energética e tipo de combustível (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2013). A eficiência dos sistemas de transportes urbanos desempenhará, por conseguinte, um papel fundamental na garantia de fluxos energéticos seguros, adequados e respeitadores do ambiente de pessoas e mercadorias (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

Além disso, os transportes são o segundo maior custo para o consumidor brasileiro, abaixo apenas da habitação, representam em média 16% dos gastos de uma família (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008). Contudo, o verdadeiro custo de dirigir está oculto e não é pago na bomba de combustível, mas na forma de problemas de saúde, atrasos e perdas de bem-estar (LOVINS, 2013). Também, não estão incluídos os custos da segurança nacional e de estradas, de estacionamentos, da fiscalização, entre outros, pagos por meio dos impostos em geral (LOVINS, 2013).

Em relação às edificações, a UNEP-SBCI (2016) avalia que os edifícios utilizam cerca de 40% da energia global, 25% da água global, 40% dos recursos globais e emitem aproximadamente 1/3 dos GEE. No Brasil, os consumos de energia nas edificações residenciais, comerciais e públicas correspondem a 50% do total da eletricidade e 14% do total de energia consumida no país (BRASIL, 2015a). Em contrapartida, o potencial de economia de energia em edificações novas, construídas de acordo com os padrões instituídos pela etiquetagem do PROCEL, é de uma economia de até 50% nas edificações existentes e de até 30% após realizar *retrofit*[9] ou reforma (PROCEL, s.d.).

A fim de evidenciar o potencial econômico da eficientização das edificações, Lovins (2013) simula que: economizar 38%, até 2050, num cenário conservador, exigiria um investimento de meio trilhão de dólares, em valores de 2010, distribuído ao longo dos 40 anos seguintes, para um retorno de 1,9 trilhão de dólares em economia de custos de energia. Em seguida, o autor complementa afirmando que, além dos ganhos econômicos, há benefícios adicionais não monetizáveis, como: reforço da marca, atração e retenção de funcionários, aumento da produtividade da equipe, melhora das notas escolares, aumento das vendas, redução das despesas com saúde, maior satisfação dos inquilinos, aluguéis mais competitivos e maior valor residual.

Além disso, é importante ressaltar que os usos elétricos em edificações consomem muito mais energia primária do que a fornecida por conta das perdas no sistema elétrico. De acordo com o Internacional Energy Agency (2009), a eficiência geral dos sistemas que atualmente fornecem serviços de energia nas cidades de todo o mundo foi avaliada numa média inferior a 10%. Lovins (2013) complementa que no caso dos Estados Unidos as perdas na transmissão e distribuição de eletricidade variam em média 7% do total de eletricidade produzida. No Brasil, por um lado as perdas primárias são menores, devido a maior eficiência da hidroeletricidade, por outro lado, as perdas na distribuição são maiores. Em 2014, as perdas na transmissão e distribuição foram de 14,9% no Brasil (BRASIL, 2015a). Tal diferença é atribuída às altas perdas não técnicas[10], perdas estas que podem chegar a 6% e que se somam

[9] "Com a tradução liberal de "colocar o antigo em boa forma", o termo retrofit tem sido amplamente empregado com o sentido de renovação, de atualização mas mantendo as características intrínsecas do bem retrofitado. Não se trata simplesmente de uma reconstrução, pois esta implicaria em uma simples restauração. Ao invés disto, busca-se o renascimento. No mundo da construção, a arte de retrofitar está aliada ao conceito de preservação da memória e da história" (CAMPOS, s.d.).

[10] Perdas não técnicas: correspondem à diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas, considerando, portanto, todas as demais perdas associadas à distribuição de energia elétrica, tais como furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamento de medição, etc. Esse tipo de perda está diretamente associado à gestão comercial da distribuidora (ANEEL, s.d.).

às perdas técnicas[11]. A figura 1 exemplifica o cálculo das perdas de eletricidade ao longo do seu processo de geração, transmissão e distribuição.

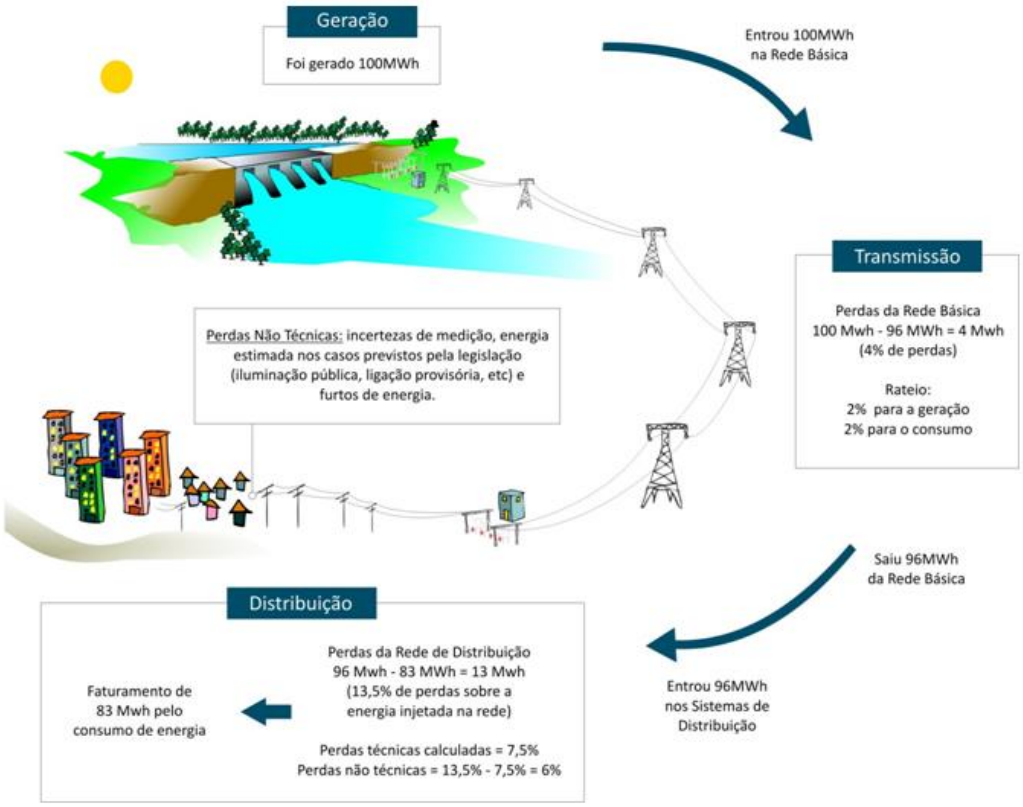


Figura 1 - Exemplo simplificado do cálculo das perdas de energia elétrica no sistema transmissão e distribuição de energia elétrica

Fonte: (ANEEL, s.d.)

Para ter uma dimensão do que representam as perdas de eletricidade no Brasil: elas equivalem a toda a eletricidade gerada pelo gás natural (13%) e pela energia eólica (2,0%) em um ano (BRASIL, 2015a). Se se considerar apenas as perdas técnicas (7%), elas equivalem a toda a eletricidade gerada por carvão mineral e seus derivados (4,3%) e ainda por toda a eletricidade produzida nas usinas nucleares (2,5%), em um ano (BRASIL, 2015a). Os custos das perdas técnicas, em 2014, no Brasil, foram de 11 milhões de reais, dessas um pouco mais de 7 milhões dos custos foram das perdas técnicas e o restante referente às perdas não técnicas (ANEEL, s.d.).

[11] Perdas técnicas: inerentes ao transporte da energia elétrica na rede, relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (efeito joule), perdas nos núcleos dos transformadores, perdas dielétricas, etc. Podem ser entendidas como o consumo dos equipamentos responsáveis pela distribuição de energia (ANEEL, s.d.).

Como evidenciado, as cidades, hoje, são as principais consumidoras de matéria e energia fornecidas, em sua maioria, através de um sistema convencional, centralizador e ineficiente. Por conseguinte, é nas cidades que poderão ser melhor implementadas estratégias de eficiência energética, conservação de energia e, consequentemente, de redução de impactos ambientais (ICLEI; UN-HABITAT, 2009). Com a contribuição do desenvolvimento das energias renováveis distribuídas, as cidades poderão também ser grandes produtoras de energia em sistemas elétricos mais inteligentes, mais confiáveis e mais eficientes.

As principais vantagens possíveis da produção distribuída, em especial para a produção de eletricidade no local, incluem: evitar os custos de transmissão e distribuição, que podem representar cerca de 30% dos custos da eletricidade fornecida; aproveitar o calor residual disponível para utilização no local como fonte de calor e eletricidade combinados (cogeração); atrasar a necessidade de atualizar um sistema de transmissão de eletricidade sobrecarregado; e, utilizar combustíveis locais relativamente baratos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009).

A tecnologia de geração distribuída mais difundida, nos dias de hoje, nas cidades, é a energia solar fotovoltaica e térmica (FARZANEH; DOLL; PUPPIM DE OLIVEIRA, 2016). Esta possui diversas vantagens sobre outras formas de geração. A principal delas é a possibilidade de produzir energia a partir de módulos pequenos e flexíveis que podem ser instalados sobre os telhados ou sobre a fachada das edificações. Também, é uma tecnologia que vem se desenvolvendo muito nas últimas décadas. Nos últimos anos, a eficiência dos módulos vem aumentando e os seus preços caindo, tornando-se uma tecnologia cada vez mais competitiva. Além do mais, a sua fonte de energia, a radiação solar[12], é de graça e abundante.

O Brasil é privilegiado, pois está situado quase que totalmente na região limitada pela Linha do Equador ao norte e pelo Trópico de Capricórnio ao sul, condição que favorece elevados índices da radiação solar em praticamente todo o território nacional, inclusive durante o inverno (TOLMASQUIM, 2016). A faixa de variação da irradiação global horizontal anual[13] do Brasil varia de 1.500 a 2.200 kWh/m², comparando com países com maior capacidade

[12] "O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, 1,5 x 1018 kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.)" (CRESESB, 2008).

[13] Irradiação ($Whm^{2)}$ é a energia incidente por unidade de área, numa superfície, obtida pela integração da irradiância em um tempo especificado. Neste caso, a irradiação global horizontal anual designa a soma da irradiação solar direta e da irradiação difusa recebida sob uma superfície horizontal no período de um ano.

instalada de fotovoltaica do mundo, como a Alemanha, irradiação entre 900 e 1.250 kWh/m², e a Espanha, irradiação entre 1.200 e 1.850 kWh/m², fica perceptível a vocação do país para a energia solar (PEREIRA, et al., 2006). Tolmasquim (2016) conclui que se todo o potencial de geração de energia solar nas residências brasileiras fosse aproveitado com sistemas fotovoltaicos esse volume de energia seria suficiente para abastecer mais de duas vezes o atual consumo doméstico de eletricidade.

Apesar do grande potencial de produção de eletricidade a partir dos sistemas fotovoltaicos há barreiras a serem superadas para que sua inserção seja ainda mais expressiva no Brasil. As principais barreiras, conforme Tolmasquim (2016) são: regulatória, tributária, normativa, de pesquisa e desenvolvimento, e de fomento econômico. Holdermann, Johannes e Beigel (2014) ressaltam que, sob o ponto de vista econômico, a produção de eletricidade por fonte solar em residências e estabelecimentos comercias é inviável em pelo menos 63 áreas de concessões de distribuição de eletricidade, no Brasil, no período estudado. Somente com incentivos financeiros será viável instalar tais sistemas. Num futuro próximo, se não houver avanços expressivos na situação atual a tendência é que o mercado fotovoltaico no Brasil não cresça substancialmente (HOLDERMANN; JOHANNES; BEIGEL, 2016).

Dessa forma, pensando em contribuir com o conhecimento sobre os sistemas energéticos urbanos, esse trabalho aprofunda as discussões relativas ao tema e, por fim, emprega uma metodologia de análise de sistema energético em uma cidade brasileira. Fechando, assim, um ciclo de conhecimento sobre sistemas energéticos urbanos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é compreender de forma mais integrada o sistema energético de uma cidade através da aplicação de uma metodologia de análise de um sistema energético urbano.

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de atingir o objetivo geral enunciado, considera-se indispensável cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Investigar os diferentes métodos e abordagens de modelagem de um sistema energético urbano;
- Selecionar a metodologia para analisar o sistema energético urbano;
- Aplicar a metodologia de análise proposta na cidade escolhida;
- Caracterizar a cidade de Porto Alegre;
- Contabilizar a demanda de energia na cidade de Porto Alegre por um determinado período;
- Analisar a demanda de energia por setor econômico da cidade;
- Levantar o potencial de produção de energia solar na cidade;
- Averiguar o potencial de produção de eletricidade considerando diferentes locais da cidade;
- Avaliar financeiramente a tecnologia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para consumidores residenciais e comerciais;
- Integrar as propostas de conservação e de oferta de energia no contexto urbano.

1.3 Metodologia

Considerando a natureza abrangente do estudo da energia, por incluir áreas de diferentes domínios do conhecimento, a abordagem do presente trabalho é quantitativa e qualitativa. Dessa forma, para atingir os objetivos propostos dessa dissertação a metodologia adotada é composta por diferentes etapas e métodos. As etapas foram divididas em três principais, entre elas: a revisão bibliográfica, desenvolvimento da metodologia de análise do sistema energético urbano e a aplicação da metodologia proposta.

Inicialmente, para a construção do conhecimento sobre o uso da energia nas cidades foi realizada uma pesquisa bibliográfica visando contextualizar o tema e apresentar sua relevância. Além de apontar a importância do planejamento energético e como ele pode auxiliar na transição para a inserção de novas fontes de energia nas cidades. Num segundo momento, os estudos bibliográficos aprofundaram a discussão sobre os sistemas energéticos e, mais precisamente, sobre as análises do sistema energético. Por fim, averiguar os principais aspectos, modelos e métodos usados para analisar a demanda e a oferta de energia nas cidades.

Este estudo teórico e qualitativo proveu a base e direcionou a segunda etapa desta pesquisa. Nessa etapa foram adotados diferentes métodos quantitativos que juntos formam a metodologia de]][análise do sistema energético urbano proposto. A finalidade desta metodologia de análise é obter uma compreensão mais integrada do sistema energético urbano. Para tanto, primeiramente fez-se o levantamento dos principais indicadores sociais, econômicos, ambientais e regulatórios, aqui denominado de caracterização municipal. Para a análise da demanda, optou-se por utilizar o modelo de contabilização do consumo de energia, denominado balanço energético. Por último, o levantamento da oferta de energia foi subdividido em potencial teórico, técnico e realizável. A metodologia de análise proposta será descrita em detalhes no capítulo 3. Para ficar mais claro, a figura 2 apresenta o diagrama que resume a metodologia adotada para análise de um sistema energético urbano.

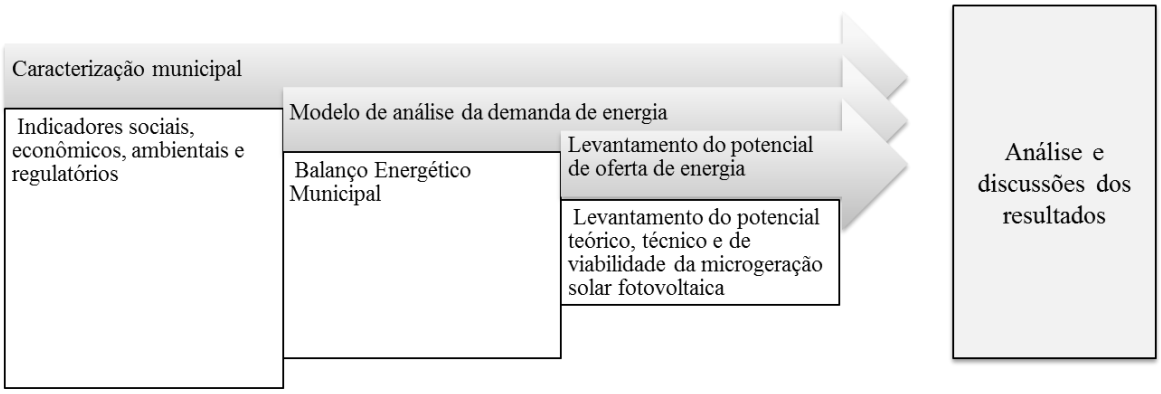


Figura 2 – Diagrama da metodologia de análise do sistema energético urbano

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Por fim, a metodologia proposta foi aplicada em um estudo de caso buscando encontrar as principais características do sistema energético do município de Porto Alegre. Por

conseguinte, espera-se que a análise e discussão dos resultados deste estudo de caso possam contribuir para o Planejamento Energético Municipal de Porto Alegre.

1.4 Estrutura da dissertação

O conteúdo desta dissertação está organizado em cinco capítulos. A primeira parte configura uma parte introdutória apresentando o tema da pesquisa e seus objetivos. No Capítulo 2 estes temas serão abordados com mais profundidade através de uma revisão bibliográfica, buscando mostrar a importância das cidades para a transição energética que está eclodindo tanto aqui no Brasil quanto no resto do mundo. Num segundo momento, serão discutidos os modelos e ferramentas que auxiliam na análise de sistemas energéticos urbanos e, assim, contribuir para a melhor compreensão destes sistemas tão complexos.

O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para a análise de um sistema energético urbano. O que incluí também o método de análise da demanda de energia[14] e o da oferta. Em seguida, o Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos a partir da metodologia adotada. Nesse capítulo foram analisados dez anos da demanda de energia no município de Porto Alegre e ao mesmo tempo a viabilidade teórica, técnica e econômica da inserção de energia solar fotovoltaica nas áreas urbanas. Ao final do capítulo são integradas as diferentes informações, análises e dados levantados ao longo do capítulo buscando uma compreensão mais integrada sobre o sistema energético urbano estudado nesta pesquisa.

Por fim, o capítulo 5 articula os aspectos qualitativos e quantitativos da pesquisa. Como conclusão são apresentadas as principais sugestões de políticas energéticas em cidades que podem ser extraídas, bem como indicações para estudos posteriores.

[14] A primeira parte, referente à análise da demanda de energia foi publicada em um artigo: “Modelagem do sistema energético de porto alegre como suporte à tomada de decisão”, no X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (WEBER, BERMANN, 2016).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão abordados temas relevantes para a compressão do tema abordado nessa pesquisa. Primeiramente, para contextualização, serão expostos alguns pontos sobre a transição energética e o papel das cidades nessa transição. Em seguida, como o planejamento energético se insere nesse contexto e como pode contribuir com a transição energética. E, por fim, apresentar os principais aspectos referentes aos modelos usados para planejamento energético urbano, bem como, os modelos e métodos de análise pelo lado da demanda e pelo lado da oferta.

2.1 A Transição Energética

O início do século XXI coincide com o início de uma revolução energética. Segundo Sachs (2007), foi desencadeada pela crise do petróleo e foi condicionada por três fatores: a proximidade do pico do petróleo, as mudanças climáticas, causadas pela emissão excessiva de gases de efeito estufa e a insegurança do abastecimento energético, devido às incertezas decorrentes da geopolítica do petróleo.

Dessa forma, se as questões globais de segurança energética, do acesso à energia, do desenvolvimento sustentável e das alterações climáticas forem tratadas de forma séria neste século, uma grande transição do setor energético será necessária (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Fri e Savitz (2014) salientam que a infraestrutura do sistema de energia é enorme, então alterá-lo de uma forma tão profunda é um desafio formidável. No entanto, olhando para o passado verifica-se que é um desafio que foi atingido várias vezes ao longo da história da humanidade.

Entre as transições energéticas mais relevantes da história se pode citar: as transições da caça e da coleta para a produção agrícola e dessa para agricultura mecanizada; e, as transições do uso da madeira para o carvão e do carvão para o petróleo. Além destas, Araújo (2014) relacionou outros exemplos de transição mais atuais. Como o plano da Alemanha para o fechamento de todas as usinas nucleares até 2022, após o acidente de Fukushima no Japão em

2011. Desde então, a Alemanha já fechou 8 das 17 usinas nucleares, o percentual de geração de energia renovável aumentou de 10 a 12% e, ao contrário do que se esperava, até mesmo aumentou a quantidade de energia exportada (ARAÚJO, 2014). Em seguida, o autor cita uma mudança no sistema energético dos Estados Unidos, em que a aplicação de tecnologias como o fraturamento hidráulico e de perfuração horizontal para o gás não convencional e petróleo, entre 2002 e 2012, contribuíram para um aumento notável na produção destes. A produção do gás natural e do petróleo cresceram 27% e 13%, respectivamente, e as importações de petróleo diminuíram 30%.

Todas essas transições no uso da energia pela humanidade parecem ocorrer de forma aleatória e por motivos diversos, porém, muitos cientistas buscaram e ainda buscam uma explicação ou um padrão nessas transições. Para Sachs (2007, p. 22):

> [...] nenhuma das transições energéticas do passado se fez por causa do esgotamento físico de uma fonte de energia. A história da humanidade pode ser sintetizada como a história da produção e alocação do excedente econômico, ritmada por revoluções energéticas sucessivas. Todas elas ocorreram graças à identificação de uma nova fonte de energia com qualidades superiores e custos inferiores. Assim aconteceu com a passagem da energia de biomassa ao carvão e deste ao petróleo e gás natural.

Sob outro ponto de vista, Peura (2013) coloca que todas as eras da história tiveram suas próprias normas, estruturas e práticas. Para o autor, elas são manifestações coletivas da sociedade, ao mesmo tempo em que, são constituídas pelas atividades e valores dos seus indivíduos e organizações. Não há nenhum indivíduo que dite as regras e as sociedades tendem a se mover de forma auto-organizada na direção do pensamento coletivo. Mesmo assim, a história tem mostrado que, frequentemente, todos os hábitos foram renovados um após o outro. O autor conclui esse pensamento afirmando que o ponto chave dessa questão é a emergência da mudança e os seus mecanismos, ou ainda, em termos da dialética: Como é que um detalhe gradualmente se torna predominante no todo?

Rosa, Machlis e Keating (1988) constataram que, apesar da energia ser fundamentalmente uma variável física, ela penetra significantemente em quase todas áreas do mundo social. Portanto, pode se dizer que se trata de uma transição social e sua relação com o uso da energia, afinal, a energia em si não se modifica sozinha.

A fim de compreender melhor a relação entre o mundo físico e o social Rosa, Machlis e Keating (1988) apresentam uma revisão sobre as teorias que buscam identificar as principais contribuições (e falhas) da compressão tanto dos impactos da energia na sociedade como das

influências sociais no uso da energia. Na teoria de Leslie White (1949, 1959 apud ROSA; MACHLIS; KEATING, 1988), a cultura evolui à medida que a quantidade de energia aproveitada per capita por ano aumenta, ou ainda, quando a eficiência dos meios instrumentais (tecnologia) de colocar a energia para trabalhar é aumentada. Sua principal limitação é a desatenção para com a segunda lei da termodinâmica. Fred Cortell (1955 apud ROSA; MACHLIS; KEATING, 1988) desenvolveu sua tese em torno da ideia de que a energia disponível limita o alcance da atividade humana, fundamentado no reconhecimento dos limites energéticos. Segundo os autores, este modelo é simplista, analisando as mudanças sociais como apenas uma forma de conversão de energia, sem considerar os demais fatores sociológicos, ambientais, entre outros.

Nicholas Georgescu-Roegen (1971, 1976 apud ROSA; MACHLIS; KEATING, 1988) por outro lado, alertou para os limites do crescimento econômico. Por conseguinte, como a economia depende da energia para produzir bens e serviços, e estando a energia limitada pela 2º lei da termodinâmica, igualmente, o crescimento econômico está limitado por ela. Sob outro ponto de vista, Richard Adams (1975 apud ROSA; MACHLIS; KEATING, 1988) entende que o poder social evolui e se torna mais concentrado com o aumento do aproveitamento da energia e é esta estrutura de poder que é a base da organização social. Porém, peca ao argumentar que os fluxos de energia são também os fluxos de informação e, portanto, que os fluxos de energia também são a base para a transmissão de significados culturais.

Por último, os autores citam a teoria do caminho difícil e do caminho suave (*hard and softy path theory*) de Armory Lovins (1977 apud ROSA; MACHLIS; KEATING, 1988). Para ele o que importa é analisar qual o caminho seguido pelos grandes consumidores de energia. O caminho seguido atualmente é o difícil (baixa eficiência e uso de fontes não renováveis) e prenuncia desastres. Portanto, a sociedade deve mudar para o caminho suave (mais eficiente e com inserção de fontes renováveis) que representa uma completa reestruturação do sistema de fornecimento de energia, bem como uma reestruturação na sociedade como um todo.

Rosa, Machlis e Keating (1988) concluem que praticamente todas as teorias falharam em levar em conta as enormes diferenças de disponibilidade de recursos e as interações entre as sociedades. E, ainda, que muitos viram a evolução social como um processo único e linear. Apesar disso, segundo eles, o fundamental foi que todos eles mostraram a percepção de que

energia desempenha um papel crucial, talvez o mais crucial de todos, na ligação entre as sociedades e seus ambientes biofísicos.

Recentemente, outra teoria foi proposta por Jeremy Rifkin e publicada no Brasil em 2012 no seu livro: A Terceira Revolução Industrial. De acordo com Rifkin (2012, p. 24): "[...] as grandes revoluções econômicas da História ocorrem quando novas tecnologias de comunicação convergem com sistemas energéticos". O autor explica que essa transição é uma relação orgânica em que a tecnologia de comunicação é o sistema nervoso que coordena o organismo econômico e a energia é o sangue que fornece alimento para converter as riquezas naturais em bens e serviços e, assim, mantêm a economia viva.

Rifkin chama essa transição de Terceira Revolução Industrial e, segundo ele, ela terá um impacto tão significativo no século XXI quanto a Primeira Revolução Industrial teve no século XIX. Nessa nova era, as pessoas produzirão a própria energia e compartilharão entre si em uma "internet da energia", da mesma forma que hoje compartilhamos dados on-line. Em seguida, o autor pontua os pilares que sustentarão a mudança da infraestrutura energética e da comunicação na Terceira Revolução Industrial, que são (RIFKIN, 2012 p. 58):

1. A mudança para energia renovável;
2. Transformação do patrimônio imobiliário de cada continente em microgeradores de energia para coletar energias renováveis no local;
3. O emprego do hidrogênio e outras tecnologias de armazenamento [...];
4. O uso da tecnologia da internet para transformar a rede elétrica de todo continente em uma rede de compartilhamento de energia que age como a internet [...]; e,
5. Efetuar a transição da frota de transporte para veículos movidos a células combustíveis ou elétricos que podem comprar e vender eletricidade em uma rede de eletricidade interativa, continental inteligente.

Lovins (2013), na mesma linha de pensamento de Rifkin (2012), fala em seu trabalho mais novo, sobre a importância de reinventar o fogo, ou seja, de mudar a forma que se usa e se produz energia. Também, ressalta que a transição energética vivida hoje trata-se não apenas de uma mudança para o uso de novas tecnologias, mas sim para uma transformação que funde energia, tecnologia da informação e novas ideias de negócios. Lovins (2013, p. 20) acrescenta que: "Essa mudança não será fácil, mas pode ser mais fácil do que não fazê-la".

Como visto, o uso da energia desempenha um papel muito importante no desenvolvimento da sociedade. Por fim, importante ressaltar que a transição energética do inicio deste século demandará uma mudança de paradigma, pois alterará a infraestrutura do sistema energético como um todo e a forma como se usa a energia. A principal mudança será para o uso de

fontes renováveis diversas e, principalmente, dispersas (LOVINS, 2013), também conhecidas como geração distribuída. Daí, a importância das cidades nessa transição, pois a geração de energia renovável no local do consumo possuiu grandes vantagens, entre as principais pode-se citar:

- Reduz as perdas da energia ao longo da sua transmissão e distribuição (RÜTHER; ZILLES, 2011);
- Reduz o consumo no horário de pico que consequentemente reduz a pressão em toda a infraestrutura da rede elétrica (RÜTHER; ZILLES, 2011);
- Produz energia a partir de fontes inesgotáveis e abundantes (LOVINS, 2013).

Apesar das vantagens serem significativas ainda há muitos desafios a serem superados. Entre os maiores obstáculos estão: demandas competitivas por recursos financeiros e de pessoal; os desafios resultantes de períodos de reeleição de dois a três anos; o bloqueio de investimentos de 30 a 60 anos em infraestrutura e a falta de cooperação com autoridades vizinhas além das suas fronteiras (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Por conseguinte, os governos nacionais da maioria dos países têm um papel importante a desempenhar no incentivo e no apoio financeiro para as suas cidades realizarem e monitorarem atividades de eficiência energética e a utilização de energias renováveis. Em contrapartida, quando os governos nacionais estão atrasados na implementação das políticas de mudança climática, alguns governos locais estão liderando o caminho (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009).

2.1.1 A importância das cidades na transição energética

Primeiro para compreender a dimensão da importância das cidades nesse processo é preciso ter em mente que o ano de 2007 ficou marcado como o ano em que metade da população mundial passou a viver nas cidades (UNITED NATIONS, 2008) e, ainda que, a cada semana a população urbana está crescendo em cerca de um milhão de pessoas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Nos próximos 45 anos, estima-se que para acomodar a população urbana deverão ser construídas o equivalente a uma cidade de 1 milhão de habitantes a cada semana (BUTERA, 2011).

Tal aglomeração afeta diretamente o ambiente, pois há excesso de consumo de matéria e energia com correspondente geração de resíduos em uma concentração em que não há possibilidade de regeneração natural do sistema ecológico local (FARR, 2013). De acordo com Grewal e Grewal (2013), essa crescente população urbana e sua crescente dependência no consumo de energia, das matérias-primas e dos bens estão colocando os sistemas de suporte de vida do planeta em risco.

As cidades atualmente são o epicentro da transformação energética, pois elas são centros dinâmicos de atividade econômica e de vastos fluxos de recursos (GIZ; ICLEI, 2014). Portanto, é nos centros urbanos que há maiores oportunidades para ações de eficiência energética e inserção de geração de energia renovável próximo ao consumo. Além do mais, as cidades ativamente envolvidas na gestão estratégica da energia têm o potencial de contribuir para a consecução dos objetivos da política energética nacional, resultando em redução das emissões de carbono e aumento da geração de receita (ADAM et al., 2016).

Pensando sobre essas questões, desde 1978 a ONU desenvolveu o Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT). O objetivo principal desse programa é apoiar e conscientizar a população mundial e os governos locais sobre a necessidade de ter cidades sustentáveis, com pouca desigualdade e com serviços básicos de qualidade (ICLEI; UN-HABITAT, 2009). Contudo, somente após a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997, tais questões ganharam mais relevância no cenário mundial e aumentou o movimento de governos subnacionais e comunidades locais para colocar a mudança climática na agenda local (BETSILL; BULKELEY, 2007).

No entanto, como Cajot et al. (2015) ressaltam, a consideração da energia como um aspecto central do planejamento urbano é um conceito bastante recente, que ainda carece de uma estrutura adequada e metodologias claramente definidas. Martins (2014, p. 36) acrescenta ainda que: “[...] poucos são os estudos que tratam de diretrizes para concepção da morfologia urbana sob o enfoque duplo: de redução da demanda e da avaliação do potencial para produção de energia”. Os autores acrescentam que uma melhor compreensão dessas interações entre planejamento urbano e questões energéticas é útil não só para os próprios planejadores, mas também para a comunidade científica que pode desenvolver sistemas apropriados de apoio à decisão e planejamento ou para outros atores privados e públicos, que podem obter benefícios econômicos e sociais associados.

O principal movimento europeu, apontado na literatura a trazer a energia como uma questão fundamental para as cidades, foi o Covenant of Mayors, chamado de Plano de Ação para a Energia Sustentável (Sustainable Energy Action Plan). Este movimento envolve as autoridades locais e regionais que se comprometem voluntariamente a aumentar o uso de energias renováveis e de utilização racional de energia no seu território (CAJOT et al., 2015; MARINAKIS et al., 2016). Marinakis et al. (2016) ressaltam que este plano ação é o documento chave em que as cidades europeias estão se baseando para atingir objetivo de redução de CO_2 a longo prazo (pelo menos 20% até 2020). Esse trabalho conjunto de prefeituras europeias deixa evidente a importância de cada uma das cidades para atingir a meta europeia na redução dos GEEs.

Além deste, em 2009, a ONU-HABITAT, juntamente com o ICLEI e com o apoio da UNEP lançaram um manual intitulado: Sustainable Urban Energy Planning – a handbook for cities and towns in developing countries[15]. O manual foi escrito para auxiliar os governos locais de países em desenvolvimento a desenvolveram nas suas cidades um programa de planejamento energético urbano sustentável, em que os principais objetivos do planejamento de ações no domínio da energia sustentável são: a otimização da eficiência energética; a oferta de energia com baixo ou nenhum teor de carbono; e, uma oferta de serviços de energia acessível, equitativa e adequada aos consumidores (ICLEI; UN-HABITAT, 2009).

Ainda nesse relatório, são apresentados 76 estudos de caso da aplicação do planejamento urbano sustentável em diversas cidades do mundo. Dois deles são aplicados no Brasil, um na cidade de Fortaleza e outro no Rio de Janeiro. Em seguida, o ICLEI e ONU-HABITAT (2009) concluem que as principais ações ou estratégias em que as cidades podem se engajar no planejamento energético sustentável podem ser sintetizadas em três formas primárias, independentemente do tamanho ou da estrutura de governança:

1. No âmbito das suas próprias operações. As cidades são muitas vezes grandes consumidores de energia em edifícios e instalações públicas, em sistemas de água e em outras infraestruturas de capital, como iluminação pública. O uso eficiente da energia no âmbito público está diretamente vinculado à redução de custos e fornece o incentivo mais direto para a ação local.

[15] Tradução nossa: Planejamento Energético Urbano Sustentável: um manual para cidades de países em desenvolvimento.

2. As cidades podem promover o uso eficiente da energia e recursos alternativos no setor privado por meio de seu papel dominante na formação do ambiente construído. Entre as áreas potenciais de ação estão a melhoria da eficiência energética nas construções existentes, a promoção da eficiência energética em novos edifícios (nos setores comercial e residencial) e a incorporação de um planejamento eficiente de energia e de um desenho urbano em novos empreendimentos.
3. As cidades podem ajudar a moldar os padrões de desenvolvimento a longo prazo, a fim de promover a eficiência no local de consumo e reduzir os efeitos da urbanização no sistema energético e no ambiente em geral.

A International Energy Agency (2009), na mesma linha, pontua que as funções que os governos locais podem desempenhar para incentivar a inserção da energia renovável incluem:

- Identificar todos os benefícios para aqueles que estão considerando investir em projetos de energias renováveis;
- Prestar apoio financeiro e consultivo ao desenvolvimento de projetos, se necessário;
- Reconhecer todos os benefícios ambientais e sociais resultantes de projetos de energias renováveis, bem como as desvantagens; e
- Garantir que todos os residentes da cidade tenham a oportunidade de aprender mais sobre as tecnologias, bem como sobre os seus benefícios e desvantagens, e sobre o impacto que podem ter no ambiente local e nos seus estilos de vida.

Em seguida, acrescenta que: a evolução dos sistemas energéticos futuros variará consoante a localização, a infraestrutura energética existente, os recursos energéticos renováveis e o estatuto de propriedade das empresas energéticas. Portanto, só é possível fornecer recomendações amplas sobre políticas relevantes para consideração por todos os governos locais (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009).

2.1.2 Transição nas cidades brasileiras

Nos últimos 40 anos, o Brasil se tornou uma dos países mais urbanizados entre os países em desenvolvimento devido ao rápido processo de urbanização ocorrido, principalmente, entre os

anos 50 e 90 do século passado (ONU-HABITAT, 2012). Conforme último censo demográfico, em 2010, 84% da população brasileira vive em centros urbanos (INSTITUTO BRASILEITO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Esses dados correspondem não apenas a um processo de urbanização, mas também, a um processo econômico, político e filosófico predominante que conduziu ao crescimento em progressão geométrica das cidades, em diferentes regiões do planeta neste período.

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, esse encadeamento foi e ainda é pior do que nos países desenvolvidos, pois neles o processo de industrialização ocorreu mais rápido, com menos planejamento e de forma incompleta (SANTOS, 2012). E, crescimento urbano com deficiência em governança tende a gerar um conjunto de custos econômicos, ambientais e sociais, como: congestionamentos, transporte público ineficiente, poluição do ar, problemas de saúde pública e infraestrutura inadequada para serviços básicos, como energia, água e lixo (FLOATER; RODE, 2014).

O ICLEI e ONU-HABITAT (2009) acrescenta que os países em desenvolvimento têm desafios maiores ao enfrentar as questões climáticas, pois também estão enfrentando os desafios de fornecer acesso a serviços básicos (tais como moradia, transporte, água e gestão de resíduos) e abordar o consumo de energia, os danos para a saúde, a poluição e as emissões de carbono. Nesse contexto, as nações em desenvolvimento devem seguir um caminho de desenvolvimento muito diferente do estabelecido pelos países do primeiro mundo (ICLEI; UN-HABITAT, 2009). Dessa forma, os desafios das cidades brasileiras vão além das questões ambientais, deverão também superar a falta de planejamento urbano juntamente com as questões de desigualdade social.

Segundo o relatório anual de emissões de GEE do Brasil (BRASIL, 2014a), o país já está plenamente comprometido com questões climáticas. Segundo o relatório, desde 1990 até 2012 houve uma redução de 41,1% das emissões de CO_2eq. Em 2012, 37% das emissões de GEE (equivalente) eram provenientes do setor agropecuário, 37% do setor energético, 15% relacionadas ao uso da terra e florestas, 7% proveniente dos processos industriais e 4%, do tratamento de resíduos (BRASIL, 2014a). As principais ações realizadas para a redução das emissões, conforme o governo federal (BRASIL, 2015b), foram:

1. Redução do desmatamento;

2. Aumento do uso de energias renováveis complementares à hídrica (eólica, solar e biomassa);
3. Financiamento de energias renováveis garantido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

No setor energético, conforme os dados do Enerdata (2016) o Brasil, em 2014, emitiu 460 milhões de toneladas de dióxido de carbono ($MtCO_2$) pela combustão de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás). Isso representa uma relação de 1,55 toneladas de CO_2 a cada tonelada equivalente de petróleo (tep) consumida no país. O indicador é 34% menor que o mundial, de 2,37 tCO_2/tep, resultado da emissão de 32.270 milhões de toneladas de dióxido de carbono em 2013.

Apesar do esforço do governo federal na redução das emissões dos GEE, os governos locais têm atuado de forma ainda tímida em ações de adaptação e mitigação à mudança do clima (KLUG, et al., 2016). Reis, Silva e Brant (2015), a partir de estudo realizado sobre as mudanças climáticas nos municípios-sede das regiões metropolitanas brasileiras, concluíram que boa parte destes tratam as mudanças climáticas como algo secundário nas administrações públicas locais. Na vanguarda, alguns municípios já estão realizando ações nesse sentido, por exemplo: o município do Rio de Janeiro lidera um movimento que conta com a participação de mais de oitenta grandes cidades de vários países para atuar na questão climática, o C40 (KLUG, et al., 2016); Belo Horizonte participa do Projeto Urban Leds (KLUG, et al., 2016); além disso, oito municípios sede de regiões metropolitanas possuem inventário de emissões de GEEs (São Paulo, Porto Alegre, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Manaus, Recife, e Rio de Janeiro).

Apesar desse esforço inicial, a maior parte dos municípios ainda não incorporaram na sua agenda e no seu do planejamento municipal a otimização do uso da energia e a redução nas emissões antrópicas dos gases. Espera-se que nos próximos anos, com implementação da Lei Federal nº 13.089/2015 (BRASIL, 2015c), ou Estatuto da Metrópole[16], que questões como abastecimento de água, eficiência energética, transporte urbano e gerenciamento de resíduos sólidos sejam cada vez mais avaliadas sob a ótica local.

[16] Estabelece a obrigatoriedade das regiões metropolitanas a elaborarem um Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado até 2018.

2.2 Planejamento Energético

Planejamento energético pode ter muitos significados, mas, de forma geral, pode ser definido como: "O processo de desenvolvimento de políticas de longo prazo para ajudar a orientar o futuro de um sistema local, nacional, regional ou mesmo o sistema de energia global[17]" (BHATIA, 2014, p. 15, tradução nossa). O objetivo de um planejamento energético pode ser definido, segundo Bajay (1989, p. 2), como:

> O planejamento energético objetiva, para um dado sistema energético, promover uma utilização racional das diversas formas energéticas e otimizar o suprimento dessas formas, dentro das políticas econômica, social e ambiental vigentes, e em sintonia com a realidade dos outros sistemas energéticos que interagem com o sistema em questão.

Hiremath, Shikha e Ravindranath (2007, p. 730, tradução nossa), em outras palavras, definem planejamento energético como: "O objetivo de um planejamento energético envolve encontrar um conjunto de fontes e dispositivos de conversão, de modo a satisfazer os requisitos de energia/demandas de todas as tarefas, da melhor forma possível. Isso pode ocorrer em nível centralizado ou descentralizado[18]".

Silva e Bermann (2002) acrescentam que o planejamento energético possui grande utilidade, pois pode auxiliar tanto no planejamento pelo lado da oferta de energia quanto pelo lado da demanda de energia. Pelo lado da oferta de energia, ele possibilita identificar as fontes energéticas mais adequadas em termos tecnológico, econômico, social e ambiental. Ao mesmo tempo em que, pelo lado da demanda, pode identificar as tecnologias de uso final mais eficiente e racional para atender a demanda de energia da sociedade (SILVA E BERMANN, 2002). Além de, identificar oportunidades de evitar o uso de energia (adicional ou não).

[17] "The process of developing long-range policies to help guide the future of a local, national, regional or even the global energy system" (BHATIA, 2014, p. 15)
[18] "The energy planning endeavour involves finding a set of sources and conversion devices so as to meet the energy requirements/demands of all the tasks in a optimal manner. This could occur at centralized or descentralized level" (HIREMATH; SHIKHA; RAVINDRANATH, 2007, p. 730).

2.2.1 Planejamento energético centralizado e descentralizado

O sistema energético em vigor no momento atual foi projetado e desenvolvido historicamente quando a energia era barata, a poluição era livre e a disseminação de informações era limitada (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009). Hoje, a energia é relativamente cara, a poluição precisa ser paga e a informação é abundante. Além disso, as expectativas de segurança do fornecimento em termos de confiabilidade e qualidade da energia também mudaram. Como alternativa, desde o início da década de 1970 surgiram diferentes abordagens ao modelo tradicional de planejamento energético (SAMPAIO; DIAS; BALESTIERI, 2013), entre eles o planejamento energético descentralizado ou municipal.

O modelo tradicional de planejamento, também chamado de planejamento centralizado, é geralmente caracterizado pelas tomadas de decisão autocratas (centralizadas e hierarquizadas) e por priorizar as centrais convencionais de grande escala. Conforme Hammer et al. (2011), a geração centralizada aproveita as economias de escala oferecidas pelas grandes usinas, que podem ser alimentadas por uma variedade de fontes diferentes, incluindo carvão, gás natural, biomassa, resíduos sólidos ou combustíveis nucleares. Inclui também, grandes sistemas de energia renovável, incluindo grandes parques eólicos, usinas de energia geotérmica ou torres de energia concentradoras, permitindo que sejam mais fáceis de integrar ao modelo central de geração e distribuição. Como mencionado anteriormente, tais centrais geradoras exigem que a eletricidade seja transmitida por longas distâncias, o que acarreta na redução da eficiência do sistema, pois estas perdem energia na sua transmissão. Além disso, devido a grande escala dos projetos os impactos ambientais também são maiores podendo causar danos permanentes ao sistema ecológico local.

Em contrapartida, o planejamento descentralizado de energia surge como alternativa ao modelo tradicional, uma vez que traz para o local a tomada de decisão sobre o planejamento energético. Essa nova abordagem preconiza a inserção de tecnologias descentralizadas, ou seja, localizadas próximas ao local de consumo. Além de atuar sobre a conservação e eficiência de energia sob a perspectiva local. De acordo com o International Energy Outlook (2009), um sistema de energia descentralizado, se bem concebido, deve ser capaz de: satisfazer as crescentes exigências energéticas locais; incorporar a gestão da demanda como um primeiro passo fundamental; garantir a segurança do fornecimento; reduzir as emissões de

gases com efeito de estufa; e, fornecer muitos benefícios sociais (incluindo o emprego local, o desenvolvimento sustentável, a independência e a coesão social das comunidades).

A partir da literatura estudada nesta pesquisa (HUANG et al., 2015; HAMMER et al., 2011; HIREMATH et al., 2010; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009; SILVA; BERMANN, 2002; JACCARD; FAILING; BERRY, 1997; BRISTOT; ADAMS, 1990) foi possível sintetizar as principais diferenças entre o planejamento centralizado e o descentralizado, figura 3.

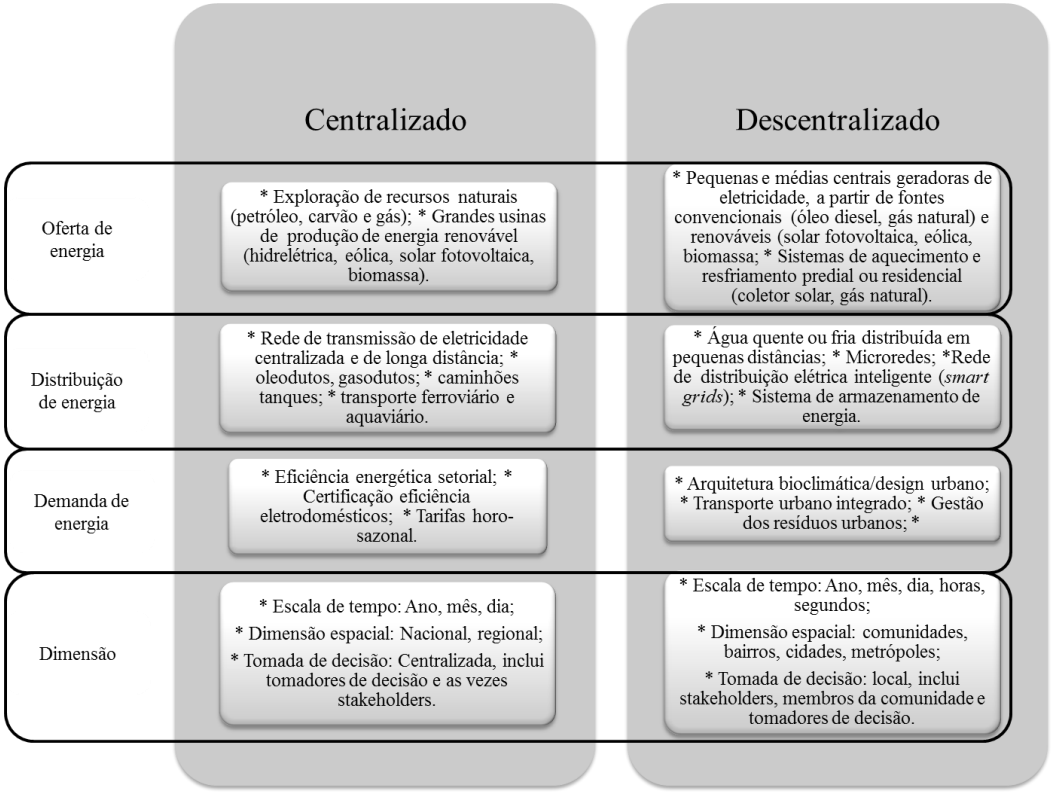


Figura 3 – Principais diferenças entre o planejamento energético centralizado e descentralizado

Fonte: Elaboração própria, 2016.

No próximo subitem serão abordados mais aspectos sobre o planejamento energético descentralizado.

2.2.2 Planejamento energético descentralizado: um apanhado geral

Apesar de estarem claras as diferenças entre o modelo centralizado e descentralizado, na literatura ainda não há um conceito definido sobre o planejamento descentralizado de energia. É possível encontrar diferentes termos que também se referem a essa nova visão de planejamento, entre eles: Planejamento Energético Municipal (BRISTOT; ADAMS, 1990); Planejamento Energético Comunitário (JACCARD; FAILING; BERRY, 1997; HUANG et al., 2015); Planejamento Energético Urbano (MADLENER; SUNAK, 2011); Planejamento Energético Urbano Sustentável (ICLEI; UN-HABITAT, 2009); Planejamento Energético Local (NEVES; LEAL; LOURENÇO, 2015). Neste trabalho todas essas nomenclaturas serão chamadas unicamente de Planejamento Energético Descentralizado (PED).

Além desses há também o Planejamento de Sistemas de Geração Distribuída (PALIWAL; PATIDAR; NEMA, 2014; TAN et al., 2013; THEO et al., 2017), voltado para a otimização da geração distribuída tanto de fonte convencional quanto renovável. Nesses casos não é considerado o planejamento pelo lado da demanda. Por fim, há também o conceito de *smart cities*[19], que de maneira geral destina-se a gerenciar, através da maior eficiência e otimização de recursos, os problemas gerados pela rápida urbanização e crescimento populacional, como o fornecimento de energia, gestão de resíduos e mobilidade (CALVILLO; VILLAR, 2016). Calvillo e Villar (2016) destacam que uma desvantagem dessa classificação é que muitas vezes a categorizam com base nas *smart grids* (redes inteligentes), ignorando outros elementos relevantes da gestão energética energia nas cidades, como transporte e edificações. As redes inteligentes ou recursos da tecnologia da informação são uma das ferramentas que auxiliam na otimização do uso dos recursos energéticos nas cidades.

Resumindo, Collaço (2015) aponta que esses conceitos tratam da descentralização da tomada de decisão, da geração e da conservação de energia local e, ainda, que suas principais motivações incluem questões como: o desejo de reduzir as emissões dos GEE; de limitar a exposição ao aumento dos preços da energia; de mudar para um sistema energético mais autossuficiente; de aumentar os ganhos em conservação de energia; de diminuir gastos com redes de transmissão e distribuição; e, de aumentar o engajamento dos cidadãos no desenvolvimento dos planejamentos energéticos.

[19] Tradução nossa: cidades inteligentes.

A primeira referência sobre PED encontrado na literatura foi feita por Mark Jaccard, Lee Failing e Trent Berry em 1997. Segundo os autores o PED é um processo de planejamento e gestão que se centra nas estratégias energéticas que podem ser adotadas em bairros, municípios ou regiões. O PED também é uma extensão lógica de vários sistemas de gestão incluindo energy cascading[20], o Neo-Traditional Neighbourhood Design[21], a ecologia industrial, a gestão do lado da demanda e o Planejamento Integrado de Recursos (PIR)[22] (JACCARD; FAILING; BERRY, 1997).

O PED também pode explorar as sinergias entre as metas de projeto urbano para cidades mais habitáveis e as metas de planejamento de energia para tornar mais eficiente o uso de energia e, consequentemente, minimizar seus impactos ambientais e aumentar a qualidade de vida (JACCARD; FAILING; BERRY, 1997; IEA, 2009). Dessa forma, o PED surge como uma das opções para atender as necessidades de energia de pequena escala de forma confiável, acessível e com menor impacto ambiental (HIREMATH et al., 2010).

Sob outro ponto de vista há autores como, Huang et al. (2015) que consideram o PED como um tipo de planejamento complementar ou secundário ao planejamento energético tradicional. Assim, o objeto de operação deste seria as fontes de energia secundárias ou a energia útil, tais como água quente, água gelada, eletricidade e combustíveis domésticos (HUANG et al., 2015). No entanto, como apresentado por Farzaneh, Doll e Puppim de Oliveira (2016), embora as cidades possam ser vistas como os consumidores líquidos de energia fornecida a partir de recursos externos, existem oportunidades significativas para a geração de energia local nas cidades. Assim, o planejamento deve considerar tanto a alta penetração de fontes alternativas de energia do lado da oferta como as estratégias de consumo de energia altamente eficientes do lado da demanda (FARZANEH; DOLL; PUPPIM DE OLIVEIRA, 2016).

---

[20] Energy cascading é "o aproveitamento de vários produtos energéticos (por exemplo, produtos térmicos, tais como vapor ou água quente) derivado da geração de energia..." (Cohen-Rosenthal, e Musnikow, 2003, p.128 apud Rizi, 2012, tradução nossa).

[21] Neo-Traditional Neighbourhood Design (Planejamento de Bairros Neotradicionais) também chamados de Novo Urbanismo preza pelos usos mistos de ocupação, diferentes tipos de construção com um alto padrão de desenho urbano para lugares públicos e uma rede interconectada de redes de rua que acomoda carros, mas é projetado principalmente para atender às necessidades dos pedestres, trafego de automóveis e ciclistas (Hodge e Gordon, 2008 apud Rizi, 2012, tradução nossa).

[22] "O PIR é o desenvolvimento combinado da oferta de eletricidade e de opções de gerenciamento do lado da demanda (DSM) para fornecer serviços de energia a custo mínimo, incluindo custos sociais e ambientais. Esse tipo de planejamento incorpora o esforço de se contabilizar o potencial de recursos em melhorias do uso de energia com o mesmo rigor empregado para se inventariar os recursos de oferta de energia" (JANNUZZI, 1997, p.7 apud COLLAÇO, 2015).

Levando em conta que o planejamento urbano (incluindo: o uso da terra, infraestrutura urbana e questões econômicas e demográficas) de uma cidade e que as questões climáticas, espaciais, físicas, podem influenciar fortemente a direção e a intensidade dos fluxos energéticos e os resíduos gerados em uma cidade (PEREIRA, 2010; CALVILLO; VILLAR, 2016). Tem-se, portanto, uma grande quantidade de informações para descrever suas inúmeras relações e várias ferramentas são necessárias para analisar diferentes questões e para alcançar uma variedade de resultados que são fundamentais para o processo de planejamento.

A fim de alcançar um gerenciamento de energia ótimo em um sistema muito complexo, como o de uma cidade, não só a identificação de seus elementos energéticos deve ser estudada, mas as relações implícitas entre eles também precisam ser consideradas (CALVILLO; VILLAR, 2016). Os modelos podem auxiliar, dentro das suas limitações, pois são ferramentas convenientes em situações em que executar testes ou experiências no mundo real são impraticáveis, muito caros ou impossíveis (HIREMATH; SHIKHA; RAVINDRANATH, 2007).

2.3 Análise do sistema energético urbano: histórico, definição e modelos

Na revisão bibliográfica sobre a análise do sistema energético urbano foram levantados alguns aspectos históricos sobre a abordagem deste assunto no Brasil. Logo, foram definidos alguns conceitos fundamentais sobre os temas abordados e, também, foram sintetizados a extensão do uso da energia no sistema energético urbano. Ao final, a revisão apresentou os principais modelos usados para analisar o uso da energia nas cidades, bem como, as principais abordagens adotadas, suas vantagens e desvantagens, entre outras particularidades sobre o assunto.

2.3.1 Breve histórico no Brasil

Os primeiros registros que se tem sobre a análise energética municipal no Brasil saõ da década de 80 e ocorreu no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com Bristot e Adams (1990) a Constituição Federal de 1988 e as constituições estaduais de 1989, paralelamente, a uma ameaça de crise no setor energético, resultante da incapacidade de investimentos do sistema centralizado, consagraram o início da descentralização no Brasil. Nesse contexto surgiu a proposta de desenvolver um programa de trabalho com os municípios, que se iniciou com a criação das comissões municipais de energia, denominada de Comissão Estadual de Energia (CENERGS). A CENERGS teve seu desenvolvimento com um programa de treinamento em planejamento energético juntamente com a elaboração de um primeiro plano a nível municipal nessa área (BRISTOT; ADAMS, 1990).

Os principais tópicos abordados na elaboração do plano municipal de energia eram (BRISTOT; ADAMS, 1990, p. 3):

> 1°) Elaboração de um diagnóstico e um prognóstico da realidade econômica e social do município e sua colocação a nível regional, estadual e nacional. Trata-se de uma análise do passado e do presente e algumas perspectivas futuras; 2°) Balanço energético municipal, isto é, uma quantificação do consumo de madeira; lenha, resíduos agrícolas e florestais; de eletricidade, dos derivados de petróleo e álcool carburante e em alguns casos de carvão mineral, seguido de um diagnóstico de cada caso. Em suma trata-se de uma análise das necessidades energéticas atuais e futuras; 3°) Inventário da oferta energética local e dos potenciais das fontes primárias de energia; 4°) Montagem de cenários energéticos municipais futuros, contemplando o horizonte temporal 1990-2000, e de uma sistematização dos projetos prioritários no setor energético, factíveis de serem executados pela atual administração municipal, bem como os que seriam postergados para as duas administrações seguintes.

Ao longo da década de 80 foram realizadas diversas comissões em, aproximadamente, 80 municípios do estado do Rio Grande do Sul. Entre os municípios estudados, está o município de Porto Alegre. Não foi observada uma metodologia única adotada para a análise do sistema energético municipal nos trabalhos aqui estudados.

No caso do município de Sentinela do Sul, por exemplo, a metodologia adotada foi dividida em três etapas: caracterização municipal, aplicação de um método de planejamento denominado Planejamento Municipal Integrado Visando ao Desenvolvimento Sustentável

(PLAMUDES)[23] e a realização de um balanço energético municipal (PIEROBON, 1998). Em outros estudos realizados na época foram encontrados inventários dos potencias de geração de energias renováveis (WANDER, 2001) além de terem sido realizados diversos diagnósticos municipais (MOSSANN, 1995), bem como, a contabilização do consumo de energia através do balanço energético municipal (KNIJINIK, PROTTI, LOSS, 1994). Nos trabalhos realizados não houve uma metodologia única adotada, provavelmente, pelas diferentes necessidades de cada município. Apesar da relevância do trabalho realizado pelas comissões, não obtiveram o sucesso desejado. Segundo Bristot e Adams (1990), por dois motivos principais: falta de apoio da comunidade, por não compreender a proposta do projeto e, falta de um suporte político e econômico, para colocar em prática os estudos realizados.

No entanto, a CENERGS deixou um legado de trabalhos importantes sobre os diferentes aspectos do uso da energia no âmbito municipal (COLLAÇO, 2015). Para o município de Porto Alegre mais especificamente ficou o livro, publicado em 1994, intitulado: Energia e Meio Ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento. Esse documento é a compilação de nove trabalhos de conclusão do extinto Curso de Espacialização em Planejamento Energético e Ambiental de Porto Alegre, ministrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Nesse documento foi estudado o consumo energético da Região Metropolitana de Porto Alegre e do município de Porto Alegre ao longo da década de 80, a partir da adoção do Balanço Energético Municipal. Além, de trabalhos que abordam os aspectos urbanos e energéticos, bem como, o consumo de energia setorial no município. Algo até então, inédito no Brasil.

O outro exemplo encontrado na literatura sobre análise de sistema energético municipal é o subprograma de Gestão Energética Municipal do PROCEL, denominado, PROCEL-GEM, iniciado em 1996 e vigente até hoje. Segundo o (PROCEL-GEM, 2006) esse programa atua com o objetivo de colaborar com o administrador municipal na gestão e uso eficiente de energia elétrica dos centros de consumo pertencentes à prefeitura. A metodologia utilizada é denominada PLAMGEs e consiste na elaboração de um diagnóstico da situação energética do município que orienta o administrador para as ações de eficiência energética que devem ser implementadas (PROCEL-GEM, 2006).

[23] O PLAMUDES baseia-se em modelo de planejamento sistêmico, onde são contemplados os mais diversos aspectos, como o ambiental e o social, no sentido de um desenvolvimento sustentável (PIEROBON, 1998). De forma geral o PLAMUDES é baseado em um questionário com diferentes perguntas visando obter um diagnóstico energético do local estudado.

Collaço e Bermann (2015) acrescentam que este programa constitui um grande avanço para o planejamento energético do país. No entanto, tem se desenvolvimento de forma muito lenta, em 20 anos de existência foi adotado em apenas 9,2% dos municípios brasileiros. Além disso, o subprograma restringe suas ações aos centros de consumo da prefeitura municipal e desconsidera as fontes renováveis de energia (COLLAÇO; BERMANN, 2015). “Constitui-se, portanto, em um planejamento incompleto e primário, o que não é compatível com o tempo já avançado de sua implementação” (COLLAÇO, BERMANN, 2015, p. 9).

Apesar da divulgação da importância da questão energética nas cidades e para as cidades estes são os únicos exemplos encontrados na literatura do Brasil que versam sobre a análise do sistema energético urbano. Salientando que, desde 1994, não se é estudado o consumo de energia em umas das principais capitais do Brasil, Porto Alegre. O que demostra a carência de trabalhos nessa área, bem como, a relevância de retomar tais estudos nos municípios brasileiros. Agora, porém, com a oportunidade de aproveitar as tecnologias à disposição através do uso dos diferentes métodos e modelos de análise de sistema energético urbano.

2.3.2 Definindo um sistema energético urbano

Um sistema energético urbano é antes de tudo um sistema energético pensado sobre as delimitações físicas de uma cidade. De acordo com Jaccard (2005 apud KEIRSTEAD; JENNINGS; SIVAKUMAR, 2012, p. 3848, tradução nossa), um sistema energético pode ser entendido como “processos combinados de aquisição e utilização de energia em uma determinada sociedade ou economia[24]”. Bajay (1989, p. 1), por outro lado, define, como: “O sistema energético é um sistema que cumpre uma função bastante precisa na sociedade: prover a energia útil que toda a atividade humana requer”.

Contudo, tais definições não são suficientes para definir um sistema energético urbano, pois este possui características únicas, como (GRUBLER et al, 2012, p. 1325, tradução nossa):

- Alta densidade populacional, atividades, bem como a utilização de energia e a poluição resultante.

[24] “The combined processes of acquiring and using energy in a given society or economy” (KEIRSTEAD; JENNINGS; SIVAKUMAR, 2012a, p. 3848).

- Um elevado grau de abertura em termos de troca de fluxos de informação, pessoas e recursos, incluindo a energia.
- Uma alta concentração de recursos de capital econômico e humano que podem ser mobilizados para instituir uma inovação e uma mudança para transição[25].

A fim de integrar o conceito de urbano, Keirstead; Jennings e Sivakumar (2012, p. 3849) formularam a seguinte definição para um sistema energético urbano: "Um sistema formal de processos combinados de aquisição e utilização de energia para satisfazer as demandas de serviços de energia de uma determinada área urbana"[26]. O conceito de urbano usado pelos autores é aquele que considera tudo que está contido nos limites administrativos da cidade, além dos fluxos a montante facilmente rastreáveis, como o consumo de eletricidade.

Considerando o exposto pode-se afirmar que um sistema energético urbano é um sistema aberto, dinâmico e heterogêneo (ARNOLD; BARTH, 2012). Assim como, um sistema energético está sob condições de incertezas e fortemente influenciado por seu meio externo. Entre eles pode-se citar: "a sociedade em seu conjunto e o sistema de relações internacionais e o meio ambiente" (BAJAY, 1989, p. 1, tradução nossa). Portanto, todos esses fatores tem um papel no uso da energia em uma cidade.

Para Turner, Kinnane e Basu (2014), outra interpretação do funcionamento de uma cidade é considerá-la como um sistema composto por diferentes subsistemas, como, subsistemas de: oferta, demanda, distribuição e armazenamento de energia associados aos aspectos socioeconômicos. Em seguida, o quadro 1, agrega os principais subsistemas que compõe um sistema energético urbano encontrados na literatura, bem como, os elementos relevantes para avaliação do desempenho energético.

[25] "A high density of population, activities, and the resulting energy use and pollution. A high degree of openness in terms of exchanges of flows of information, people, and resources, including energy. A high concentration of economic and human capital resources that can be mobilized to institute innovation and transitional change" (GRUBLER et al, 2012, p. 1325).

[26] "A formal system that represents the combined processes of acquiring and using energy to satisfy the energy service demands of a given urban area" (BAJAY, 1989, p. 1).

Quadro 1 - Subsistemas que compõe um sistema energético urbano e os elementos relevantes para avaliação do desempenho energético

Subsistemas	Principais elementos
Oferta de energia	Geração de energia centralizada (ex.: termelétricas e usinas hidrelétricas de grande porte)
	Geração de energia distribuída (ex.: cogeração e aquecimento urbano)
	Geração de energia renovável (ex.: solar, eólica, marés, pequenas hidrelétricas)
Demanda de energia	Edificações residenciais, comerciais e industriais
	Setor de transportes (ex.: transporte individual e transporte coletivo)
	Serviços públicos (ex.: iluminação pública e saneamento)
Distribuição de energia	Eletricidade (ex.: redes de transmissão e distribuição)
	Gás (ex.: redes de abastecimento e distribuição de gás natural)
	Combustíveis (ex.: transporte rodoviário de combustíveis líquidos)
	Tecnologia da Informação (ex.: smart grids)
Armazenamento de energia	Armazenagem a granel (ex.: gás natural comprimido)
	Baterias
Socioeconômico	Dinâmica de precificação (ex.: tarifas de energia elétrica de pico de demanda)
	Comportamento do usuário (ex.: ocupantes do edifício e os consumidores de energia)
	Sistemas de relações internacionais (ex.: importação, exportação de petróleo)
Ambiental	Aspectos climáticos (ex.: temperatura média, velocidades dos ventos, radiação média incidente)
	Recursos naturais (abrangem os recursos renováveis, como: radiação solar, ventos, biomassa; recursos não renováveis, como: gás natural e derivados do petróleo; e, subprodutos urbanos, como: resíduos sólidos, esgoto e gases resultantes)
Morfologia Urbana	Uso da terra (ex.: densidade populacional e uso do solo)
Legislação	Aspectos regulatórios e o plano diretor das cidades

Fonte: BAJAY, 1989; KEIRSTEAD; JENNINGS; SIVAKUMAR, 2012; MARINS; RÓMERO, 2012; TURNER; KINNANE; BASU, 2014; CALVILLO; SÁNCHEZ; VILLAR, 2016, adaptado pela autora.

Dessa forma, a fim de modelar um sistema energético urbano, é necessário identificar os componentes e parâmetros relevantes do meio urbano que irão permitir uma caracterização energética mais apurada.

Importante ressaltar que, os dados de entrada (*inputs*) utilizados no modelo afetam consideravelmente a qualidade dos resultados e, portanto, deve ser dada especial atenção para

a sua seleção (CALVILLO; SÁNCHEZ; VILLAR, 2016). De acordo com Keirstead, Jennings e Sivakumar (2012a), há dois problemas principais relacionados aos dados: a sua disponibilidade e sua incerteza.

Em relação aos *outputs* dos modelos, Brownsword et al. (2005) salientam que, em conjunto com outros resultados da pesquisa, os outputs devem beneficiar urbanistas e governos locais e regionais na identificação de medidas de gestão de energia em áreas urbanas. Igualmente, devem ajudar as empresas a avaliar as oportunidades de geração de energia dentro de uma estrutura em energia sustentável e os prováveis efeitos de medidas de eficiência energética na demanda de energia. Por fim, os autores concluem que os moradores da cidade se beneficiariam de um planejamento urbano mais eficaz.

2.3.3 Modelos de sistema energético urbano

De forma abrangente, um modelo pode ser definido como: "[...] uma descrição simplificada de uma entidade ou processo complexo"[27] (BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2010, p. 6, tradução nossa). Modelos são comumente usados para prever e para tornar visíveis os fenômenos que normalmente não são observáveis (TWEED; JONES, 2000). Geralmente, o conceito de um modelo evoca uma imagem de um sistema complexo, informatizado de equações matemáticas que fornecem informações detalhadas sobre o funcionamento do processo que está sendo modelado (HOFFMAN; WOOD, 1976). Na prática, Hoffman e Wood (1976) ressaltam que dependendo dos fins para os quais o modelo se destina, eles podem ser simples ou complexos, ou seja, modelos para análises simples podem ser mais apropriado ao monitorar o desempenho geral de um processo. Da mesma forma, se forem necessárias informações mais detalhadas dever-se-á usar modelos mais complicados que empregam especificações teóricas e técnicas adequadas ao objetivo desejado.

Os modelos de sistemas energéticos têm sido usados para fornecer previsões e suporte à tomada de decisões em diversas questões do planejamento de energia e das atividades de formulação de políticas (HOFFMAN; WOOD, 1976; NAKATA; SILVA; RODINOV, 2011).

[27] "[…] a simplified description of a complex entity or process" (BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2010, p. 6)

Também, são consideradas ferramentas valiosas para a compreensão dos fatores por trás da penetração das tecnologias de energia e transições no consumo de combustível (NAKATA; SILVA; RODIONOV, 2011). Por sua natureza abrangente os modelos de sistemas de energia são formulados usando métodos teóricos e analíticos de várias disciplinas, incluindo engenharia, economia, matemática, estatística e gestão.

A fim de compreender melhor os modelos de sistemas energéticos, ao longo dos anos, muitos autores revisaram os principais métodos, ferramentas e aplicações adotadas. A primeira revisão encontrada na literatura foi feita por Hoffmann e Wood (1976) em que analisam os modelos a partir do seu escopo de abrangência. E, os separaram em quatro grupos principais: modelos setoriais, visando analisar a oferta e demanda de energia para apenas uma fonte de energia; modelos específicos para o setor industrial, incluindo tanto as relações de oferta e demanda; modelos de energia-economia, com o intuito de analisar as relações entre o sistema energético e da economia em geral.

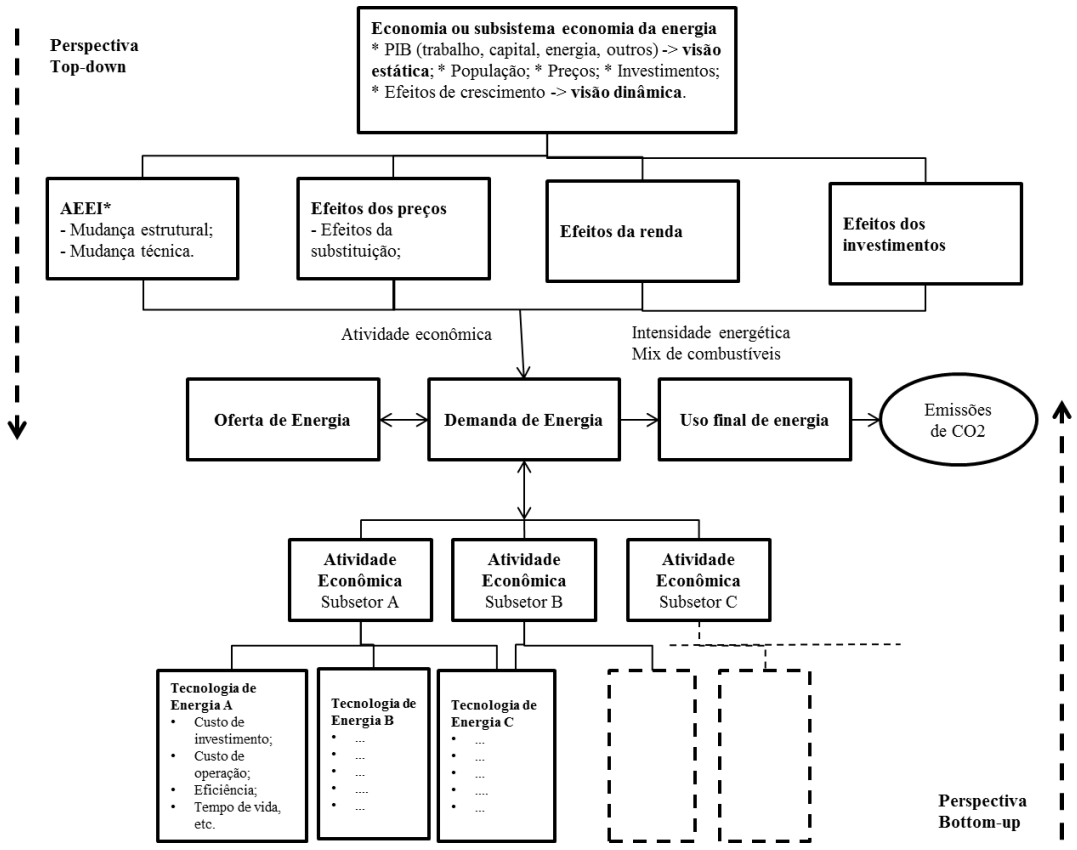
Trinta anos depois, Jebaraj e Iniyan (2006) fizeram uma revisão com o mesmo propósito, e observaram que os principais modelos de sistemas energéticos versam sobre: planejamento energético, demanda e oferta de energia, modelos de previsão de demanda, avaliação das fontes de energias renováveis, modelos de otimização, modelos baseados em redes neurais e redução das emissões.

Sob outro ponto de vista, outro conjunto de autores compararam os modelos de sistemas energéticos a partir de diferentes paradigmas aplicáveis a eles. As duas principais abordagens encontradas na literatura são: *bottom-up*, *top-down* (BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2010; JOHNSTON, 2003; NAKATA, 2004; OLADOKUN; ODESOLA, 2015) Contudo, há autores que além destas, consideram uma terceira abordagem, chamada de híbrida (BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2009; OLADOKUN; ODESOLA, 2015). Segundo Oladokun e Odesola (2015), a abordagem híbrida é um recente avanço no desenvolvimento de outro paradigma de abordagem da modelagem, visando desenvolver modelos mais robustos que derivam de ambas as abordagens *bottom-up* e *top-down* (OLADOKUN; ODESOLA, 2015).

Em relação aos métodos *bottom-up* e *top-down*, Oladokun e Odesola (2015, p. 234, tradução nossa) ressaltam suas principais diferenças:

> Basicamente, a perspectiva de abordagem da modelagem top-down é bastante diferente da abordagem bottom-up, uma vez que começa com dados agregados e desagrega estes para baixo, tanto quanto possível, numa tentativa de fornecer um modelo abrangente. [...] Por outro lado, a abordagem bottom-up começa com dados altamente desagregados e acabam agregando-se, tanto quanto possível.[28]

Johnston (2003) acrescenta que apesar dos métodos *bottom-up* e *top-down* representarem duas abordagens alternativas para a modelagem, há um grau de comunalidade entre eles. De acordo com ele: (1) eles são capazes de operar ao mesmo nível de desagregação; e, (2) ambos usam as mesmas informações, mas as descrevem e utilizam de modos diferentes. A figura 4, descreve melhor esses dois métodos.



* O Índice de Eficiência Energética Autônoma (Autonomous Energy Efficiency Index - AEEI) é uma função do tempo. Tecnicamente é uma variável proxy. Representa todos os fatores, técnicos e estruturais incorporados de longo prazo, que produzem mudanças na intensidade energética da economia, além das mudanças causadas pelos preços. Por conseguinte, presume-se que é independente da política, na medida em que a política é modelada através de sinais de preços.

Figura 4 – Abordagens de modelagem *top-down* e *bottom-up*

Fonte: (IEA, 1998 apud Johnston, 2003 adaptado pela autora)

[28] "Basically, the perspective to top-down modelling approach is quite different from that of bottom-up approach as it starts with aggregate data and then disaggregates these down as far as possible in a bid to provide a comprehensive model. […]Conversely, bottom-up approach begins with highly disaggregated data and end up aggregating them up as far as possible" (OLADOKUN; ODESOLA, 2015, p. 234).

Há, também, autores que analisaram os modelos especificamente pensados sobre os sistemas energéticos urbanos. Como Keirstead, Jennings e Sivakumar (2012), que concluíram através de vasta revisão bibliográfica que o consumo de energia nas cidades é de crescente interesse. Por conseguinte, os modelos de análise dos sistemas energéticos urbanos são uma ferramenta fundamental tanto na avaliação de melhores projetos e novas políticas quanto na avaliação das tecnologias adequadas às áreas urbanas.

Os principais desafios dos modelos de sistemas de energia urbano, de acordo Keirstead, Jennings e Sivakumar (2012), são: a complexidade do sistema urbano; a disponibilidade e confiabilidade dos dados; a falta de integração dos modelos e de análises interdisciplinares; e, a avaliação dos efeitos combinados das políticas públicas (por exemplo, transporte e políticas energéticas no caso dos modais de transporte elétrico). Dessa forma, as principais oportunidades estão em criar um modelo de sistema energético urbano integrado responsivo às políticas públicas.

Além disso, Bhattacharyya e Timilsina (2010) ressaltam as dificuldades de adotar modelos elaborados em países desenvolvidos nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Segundo eles, isso ocorre devido às características distintas do setor energético dos países em desenvolvimento, para o autor estas características incluem:

- Dependência nas energias tradicionais;
- A existência de grandes setores informais que, por vezes, são tão expressivos quanto o setor formal;
- Dicotomia urbano-rural e prevalência da desigualdade e da pobreza;
- As mudanças estruturais da economia acompanhadas pela transição do estilo de vida tradicional ao estilo de vida moderno;
- Setor de energia ineficiente caracterizado pela escassez de oferta e fraco desempenho dos serviços públicos de energia;
- Existência de múltiplas barreiras sociais e econômicas para o fluxo de capital; e
- Difusão lenta da tecnologia.

Todos esses fatores contribuem para que o desenvolvimento do sistema energético dos países em desenvolvimento seja significativamente diferente dos países desenvolvidos.

Portanto, após realizar um estudo para avaliar quais os modelos existentes são adequados para países em desenvolvimento, Bhattacharyya e Timilsina (2010) concluem que a maioria dos modelos existentes capturam de forma inadequada as características dos países em desenvolvimento. Dado que, o nível de exigência dos dados e a base teórica destes modelos, bem como, a sua incapacidade de capturar características específicas dos países em desenvolvimento, fazem destes modelos menos adequados. Entre estes, as divergências são mais pronunciadas nos modelos econométricos e de otimização. Conquanto, os modelos do tipo balanço do uso final, com os seus requisitos de dados flexíveis e com foco em cenários em vez de soluções ótimas, são os mais relevantes para os países em desenvolvimento.

Por fim, os autores evidenciam que embora os países em desenvolvimento sejam caracterizados por sua dependência em tecnologias ineficientes, eles podem se beneficiar dos avanços tecnológicos e saltar a escada tecnológica, também conhecida como *leapfrogging*[29], através da adoção de tecnologias mais limpas e evitando os erros cometidos pelos países desenvolvidos em seu processo de desenvolvimento.

Em seguida, mantendo a atenção para o principal objetivo dessa pesquisa será feita uma breve revisão sobre modelos de sistemas de energia classificados em 2 grupos principais: 1) modelos pelo lado da demanda; 2) modelos pelo lado da oferta.

2.3.4 Modelos pelo lado da demanda municipal ou urbana

A demanda de energia surge da necessidade do uso de aparelhos ou serviços que consomem energia. Por isso, a demanda por energia depende diretamente da oferta de energia e dos demais serviços energéticos. De acordo com Bhattacharyya e Timilsina (2010), a demanda do consumo final de energia é afetada, principalmente, pelo custo da energia, mas também por outros fatores, subjetivos e variáveis. Como, por exemplo, as condições climáticas, a

[29] "Recentemente, o conceito de *leapfrogging* vem também sendo utilizado no contexto de desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento. O desenvolvimento destes países pode ser acelerado evitando tecnologias e indústrias inferiores, menos eficientes, mais caras ou mais poluentes, e saltando diretamente para as mais avançadas. Propõe-se que através do *leapfrogging* os países em desenvolvimento podem evitar estágios de desenvolvimento prejudiciais ao ambiente e que não precisam seguir a trajetória de países industrializados poluentes. Um exemplo frequentemente citado é o dos países que não possuem telefone e saltam diretamente para os telefones celulares, pulando o estágio de telefones fixos" (WIKIPEDIA, 2015a).

acessibilidade, a renda do tomador de decisão, a preferência para o serviço da utilização final, etc.

Normalmente, os modelos de demanda visam contabilizar, otimizar ou prever a demanda de energia em um determinado local ou região. Também, abranger aspectos econômicos, tecnológicos ou de planejamento de um sistema energético (BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2010). Considerando que os modelos de demanda de energia, assim como, os modelos de sistemas energéticos, podem ser adotados a partir de diferentes abordagens ou paradigmas: *bottom-up*, *top-down* e híbrida (NAKATA, 2004; BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2010; OLADOKUN; ODESOLA, 2015).

De acordo com Farzaneh, Doll e Puppim de Oliveira (2016), os modelos pelo lado da demanda são comumente adotados em diferentes níveis. Por exemplo, ao nível do consumidor final, como o levantamento da demanda de energia nas edificações (residenciais, comerciais e industriais), no uso industrial e no sistema de transporte urbano. Ao nível da cidade, metodologias estatísticas, do tipo *bottom-up*, combinadas com as técnicas de geoprocessamento são muito usadas para analisar os impactos de mudanças tecnológicas e comportamentais no uso da energia nas edificações em geral (FARZANEH; DOLL; PUPPIM DE OLIVEIRA, 2016). Além destas, o autor ressalta que o transporte urbano desempenha um papel fundamental na utilização final do consumo de energia. Em grande parte devido à forte dependência de combustíveis fósseis e ao crescimento significativo da procura de mobilidade. Portanto, modelos visando reduzir o consumo de energia nos veículos de passageiros e no sistema de transporte público são a base de uma série de aplicações de modelos baseados em diferentes abordagens e metodologias analíticas (FARZANEH; DOLL; PUPPIM DE OLIVEIRA, 2016).

O modelo adotado nessa pesquisa para a modelagem da demanda da cidade de Porto Alegre é chamado de Balanço Energético, também, conhecido como modelo de contabilidade. Hoffman e Wood (1976) sugerem que é um modelo coerente e abrangente, usado desde 1950 nos EUA. Ainda hoje, este modelo é muito popular e usado em modelos como o Long-range Energy Alternative Planning (LEAP).

De forma simplificada, este modelo pode ser entendido como uma radiografia do sistema energético para gerar uma visão consistente da demanda de energia (e oferta) com base na descrição física do sistema de energia. Mais precisamente, um balanço energético contabiliza

os fluxos de energia a partir de fontes primárias de abastecimento e através de processos de conversão até às demandas da utilização final (HOFFMANN; WOOD, 1976). Em seguida, esse método desagrega os dados de consumo de energia em quatro setores principais, entre eles: industrial, transporte, residencial e comercial. Somente os setores industrial e o de transporte são desagregados em subsetores, com finalidade de capturar as características específicas dos usuários de uso intensivo de energia (BHATTACHARYYA; TIMILSINA, 2010).

De acordo com Bhattacharyya e Timilsina (2010), o balanço energético é um modelo híbrido, porque considera os detalhes dos dados dos modelos de engenharia/economia. Porém, mantém a análise comportamental encontrada em modelos *top-down*. Ainda, segundo os autores, um balanço de energia fornece uma representação simples de um sistema de energia. Contudo, esta representação do sistema de energia pode ser aumentada com técnicas de otimização ou de simulação, ou ainda, usado simplesmente como um quadro para exibir todas as informações e opções contabilizadas (HOFFMANN; WOOD, 1976).

Também, é importante ressaltar que (KNIJNIK; PROTTI; LOSS, 1994 p. 35):

> As leis físicas que regulam estas operações ao longo do sistema energético derivam de dois princípios da termodinâmica. Primeiro princípio: a quantidade de energia de um sistema isolado permanece constante. Segundo princípio: a qualidade desta energia se degrada irreversivelmente. Assim, a quantidade de energia que entra é igual à energia que sai, incluindo as perdas.

É um modelo normalmente adotado a nível global e nacional. Usado tanto pelo National Energy Modelling System[30] para preparar o Annual Energy Outlook quanto pela Empresa de Pesquisa Energética para preparar o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2015a) e pela Secretaria de Infraestrutura e Logística do Rio Grande do Sul para fazer o Balanço Energético do Rio Grande do Sul (CAPELETTO; MOURA, 2015).

Além disso, pode ser preparado a nível regional e municipal, neste caso trata-se de um Balanço Energético Municipal (BEM) (KNIJNIK; PROTTI; LOSS, 1994). Nestes casos, um balanço energético pode explicitar o comportamento de parte do sistema energético, ou seja, em diferentes pontos da cadeia energética. Desse modo:

> Podem ser balanços de requerimento (quantidades usadas nos pontos de produção ou extração), de demanda final (quantidades efetivamente entregues aos consumidores) ou balanços de energia útil (quantidades realmente utilizadas pelos consumidores, isto é, para iluminação, calor e força motriz).

[30] Tradução nossa: Sistema Nacional de Modelagem de Energia.

Neste trabalho optou-se por realizar o Balanço Energético Municipal da demanda final ou do uso final. Foi adotada a mesma sistematização da demanda final das fontes de energia primária e das fontes de energia secundária usadas pelo Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2015a) e pelo Balanço Energético do Rio Grande do Sul (CAPELETTO; MOURA, 2015). Na metodologia de análise do sistema energético (capítulo 3) será discriminada cada uma das etapas de elaboração do BEM usado para analisar a demanda de energia em Porto Alegre.

2.3.5 Levantamento de potencial de oferta de energia renovável

De acordo com o relatório do Internacional Energy Agency (2009), avaliar as fontes de energia renováveis disponíveis na cidade ou perto de uma é um passo crucial antes de desenvolver políticas que apoiem a implantação de tecnologias de energia renovável. Há várias opções de técnicas, ferramentas e modelos para ajudar nessa tarefa. Assim como, para aplicar essas opções de forma mais eficiente e para determinar o *mix* ótimo de tecnologias. Por exemplo, as avaliações de recursos de radiação solar baseadas em dados de satélites podem dar uma indicação da contribuição anual para o potencial de aquecimento da água a partir da energia solar ou as variações sazonais na produção de energia a partir de um painel solar fotovoltaico (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2009).

Serão abordados nessa revisão apenas modelos usados para analisar os recursos para geração de energia renováveis. Em seguida, somente tecnologias que possam ser usadas nas cidades, ou seja, tecnologias de pequeno ou médio porte. Farzaneh, Doll e Puppim de Oliveira (2016) apontam que os modelos do lado da oferta mais usados, para avaliar as fontes de energias renováveis, são na sua maioria focados nas tecnologias de fornecimento de energia. Em particular, sistemas de energia solar fotovoltaico, turbinas eólicas urbanas, tecnologias de aquecimento e refrigeração e sistemas de transformação de resíduos em energia elétrica.

Em geral, esses modelos são caracterizados por: usar uma escala espacial limitada; considerar um único tipo de tecnologia; e, por usar apenas uma técnica de simulação ou de trabalho experimental para a realização da análise do sistema (FARZANEH; DOLL; PUPPIM DE

OLIVEIRA, 2016). Normalmente, são modelos do tipo *bottom-up*, uma vez que, obtém os dados utilizados são secundários, em seguida, agregados para obter o potencial desejado.

Adam et al. (2016) destacam que a avaliação de recursos solares em áreas urbanas tem ganhado muito mais atenção do que outras fontes de energia. Na maioria destes, foram usados dados de radiação solar de baixa resolução associados com métodos de classificação do solo e das edificações para determinar o potencial nacional e regional de geração de energia solar fotovoltaica (ADAM et al., 2016). Ainda, segundo Adam et al. as técnicas de estimação da velocidade do vento nas cidades têm sido bem menos usadas e na sua maioria foram superestimados por não considerar as restrições urbanas. Em seguida, os autores enfatizam que enquanto a avaliação dos recursos está bem representada na literatura, poucos estudos consideraram os aspectos financeiros da instalação da tecnologia.

No Brasil, por outro lado, a abordagem mais encontrada de averiguação das fontes renováveis é o atlas energético, como por exemplo, o Atlas brasileiro de energia solar (PEREIRA, et al., 2006), o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE, et al., 2001) e o Atlas de Bionergia do Brasil (COELHO, et al., 2005). Além dos atlas em escala nacional, também foram encontrados atlas de potencial energético regional, como: o Atlas Solar Paulista (SECRETARIA DE ENERGIA, 2013), o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO E PROMOÇÃO DOS INVESTIMENTO, 2014), entre outros. Estes atlas tem uma importância muito significativa, pois servem de base para avaliar o potencial de geração de energia renovável, normalmente, para modelos *top-down*. Outros exemplos, em que os atlas energéticos serviram como base para avaliar o potencial para uma determinada região, são: o potencial de energias renováveis do Brasil realizado por Pereira et al. (2012); o realizado por Burani et al., (2004), para avaliar o potencial de produção de energia na região Administrativa de Sorocaba em São Paulo; e, o levantamento de potencial energético feito por Azzolin e Canha (2014) para a região norte do Estado do Rio Grande do Sul.

A partir dessa sucinta revisão sobre a análise da oferta ou de levantamento de potencial, pode-se observar que os modelos de análise da oferta de energia assim como os de demanda podem ser elaborados a partir de diferentes abordagens, como a *top down* e a *bottom up*. E, ainda que, há diversas metodologias, técnicas e escopos que podem ser adotadas. Consequentemente, não há uma convergência nos seus significados apesar de a maior parte dos trabalhos pesquisados usarem conceitos semelhantes em suas abordagens.

Resch et al., (2008), por exemplo, classificaram os potenciais adotados, para analisar as energias renováveis em escala global, em 4 categorias principais: potencial teórico; potencial técnico; potencial realizável; e potencial de médio prazo. Além destes, houveram autores, como Adam et al. (2016), que consideraram os seguintes potenciais no seu estudo: potencial teórico; potencial restrito; potencial técnico e potencial financeiro. Hoogwijk, de Vries e Turkenburg (2004) consideraram o potencial geográfico (teórico), o potencial técnico e o potencial econômico. Como não há uma definição única dos termos acima adotados. Nesse trabalho optou-se por usar a conceituação adotada por Resch et al. (2008, p. 4049), descrita logo abaixo e demonstrada graficamente na figura 5:

- Potencial teórico: este potencial representa o limite superior do que pode ser produzido a partir de uma determinada fonte de energia a partir de um ponto de vista teórico baseado no conhecimento científico atual. Para obtê-lo, os parâmetros físicos gerais devem ser considerados (por exemplo, com base na determinação do fluxo de energia resultante de uma determinada fonte de energia dentro da região investigada).
- Potencial técnico: considera as condições físicas e técnicas, isto é, a eficiência das tecnologias de conversão e as limitações físicas gerais, por exemplo, a área de terra disponível para instalar turbinas eólicas. Para a maior parte dos recursos o potencial técnico deve ser visto no contexto dinâmico, pois, com o constante desenvolvimento das tecnologias de conversão a tendência é que o potencial técnico aumente cada vez mais.
- Potencial realizável: representa o potencial máximo atingível assumindo que todas as barreiras existentes possam ser superadas. Assim, os parâmetros gerais como, por exemplo, as taxas de crescimento do mercado, as restrições de normativas são levadas em conta. É importante mencionar que esse potencial também é dinâmico e, portanto, deve-se referir a um determinado ano.
- Potencial de médio-prazo: é igual ao potencial de realização, porém interpolado para um futuro próximo, para os próximos 10 ou 20 anos, por exemplo.

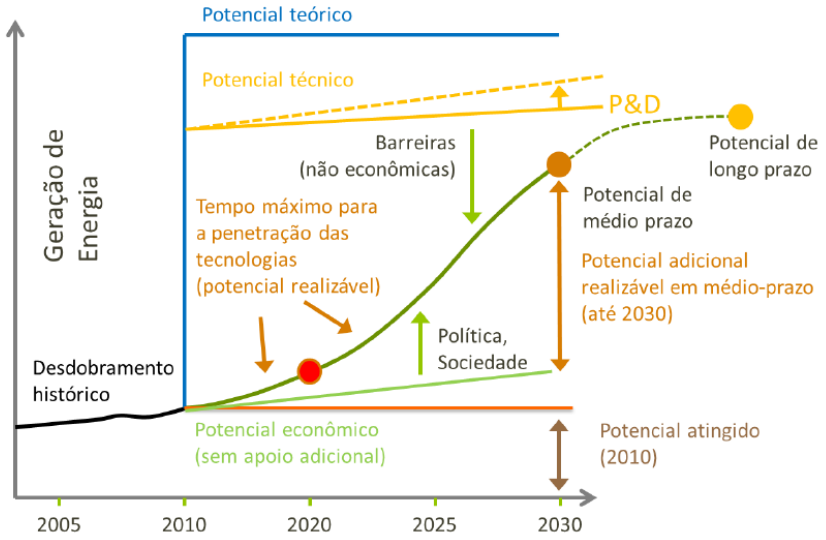


Figura 5 – Representação gráfica dos diferentes potenciais de levantamento da oferta de energia

Fonte: (FEAM, 2014 adaptado de Resch et al., 2008)

Um exemplo de potencial teórico é o atlas de potencial de energia, mencionado anteriormente. Um exemplo de potencial técnico realizado no Brasil foi realizado pela Empresa de Pesquisa Energética e mostra o potencial de geração fotovoltaica em telhados residenciais. Tolmasquim (2016, p. 393) de maneira resumida diz que: "o estudo foi feito através de georreferenciamento, cruzando a área de telhados residenciais, estimados a partir dos dados do Censo IBGE 2010, e a irradiação incidente, segundo dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar".

Por último, o potencial realizável é mais difundido na literatura, no Brasil, por exemplo, há estudos como o de Holdermann, Kissel e Beigel (2014) que estimaram a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos de pequena escala dos setores residencial e comercial do Brasil. Além deste, Salamoni et al. (2004) e Cursino (2016) avaliaram o potencial técnico e o potencial realizável de sistemas fotovoltaicos integrados à fachada de edificações em diferentes cidades brasileiras. Os resultados destes estudos são diversos, alguns estimam, que a inserção de energias renováveis em pequena escala, é viável economicamente e outros não. Porém, todos afirmam a necessidade de haver mais incentivos por parte dos administradores públicos.

2.4 Considerações finais do capítulo

O sistema de abastecimento de energia convencional baseado em grande parte na combustão de combustíveis fósseis é bastante ineficiente e tem custos ambientais elevados. Assim, o planejamento descentralizado surge como alternativa viável para auxiliar na inserção de um novo modelo de produção de forma distribuída e incorporando a eficiência energética tanto pelo lado da demanda quanto da oferta.

Nesse contexto, a contribuição das energias renováveis para o conjunto de energias primárias das cidades são estratégias para aumentar a eficiência do sistema energético e aumentar o aproveitamento de recursos renováveis. Ao mesmo tempo, as técnicas, ferramentas e modelos de gestão e análise da demanda auxiliam na conservação de energia, proporcionam um melhor aproveitamento do uso da energia e, consequentemente, na eficiência global do sistema energético. Por isso, uma análise do sistema energético local de forma integrada, isto é, uma análise tanto da demanda quanto da oferta de energia, é fundamental para averiguar o sistema energético de um município.

No entanto, existem restrições a superar para algumas tecnologias, incluindo os seus custos mais elevados e a densidade de energia espacial relativamente baixa em comparação com os fornecimentos convencionais de energia, além de restrições regulatórias e econômicas. Tais aspectos precisam ser discutidos para serem superados e assim abrir o caminho para uma transição energética sem percalços ou solavancos.

Para isso a academia tem um papel fundamental para acrescentar conhecimento a essa discussão conduzindo a questão como uma base de conhecimento e experiências. Além do mais, ainda há poucos estudos na literatura que integrem uma análise abrangente tanto da demanda quanto da oferta de energia em uma cidade ou centro urbano no Brasil. Portanto, esse estudo traz à tona a questão e espera que continue a ser amplamente discutido. Os capítulos 3 e 4 apresentarão a metodologia e os resultados dessa aplicação respectivamente, desenvolvido na cidade Porto Alegre, a fim de aprofundar ainda mais os temas aqui abordados.

3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DO SISTEMA ENERGÉTICO URBANO

Como mencionado anteriormente (vide figura 2), a metodologia de análise do sistema energético urbano adotada é composta por três etapas principais: caracterização do município, análise da demanda e levantamento do potencial de energia. Neste capítulo cada uma destas etapas serão descritas detalhadamente.

3.1 Caracterização do município

A delimitação da região de estudo é fundamental para compressão do sistema energético local. Afinal, as características locais determinam o conjunto de informações referente aos aspectos, sociais, econômicos, ambientais e até mesmo regulatórios. Esta visão abrangente possibilita obter uma dimensão global desta região ao mesmo tempo tão singular e diversificada, tanto em nível fisiográfico como sociocultural. Dessa forma, este levantamento inicial é a base que tornam o modelo e/ou o planejamento adequado à realidade local.

Nesta etapa foram levantadas informações referentes aos aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos. A figura 6 abaixo mostra os indicadores e aspectos adotados nessa pesquisa para integrar a caracterização da cidade em estudo. Optou-se por esses indicadores por terem relação com o uso da energia. Como por exemplo, os aspetos climáticos que predispõe a sazonalidade do consumo de energia, ou ainda, os aspectos regulatórios que podem estimular ou restringir a geração de energia local. Os aspectos sociais e econômicos são mais difíceis de associar diretamente ao uso da energia, devido à natureza complexa e dinâmica destes elementos. Apesar disso, há recortes e suposições que são geralmente adotadas e que complementam a caracterização do local estudado.

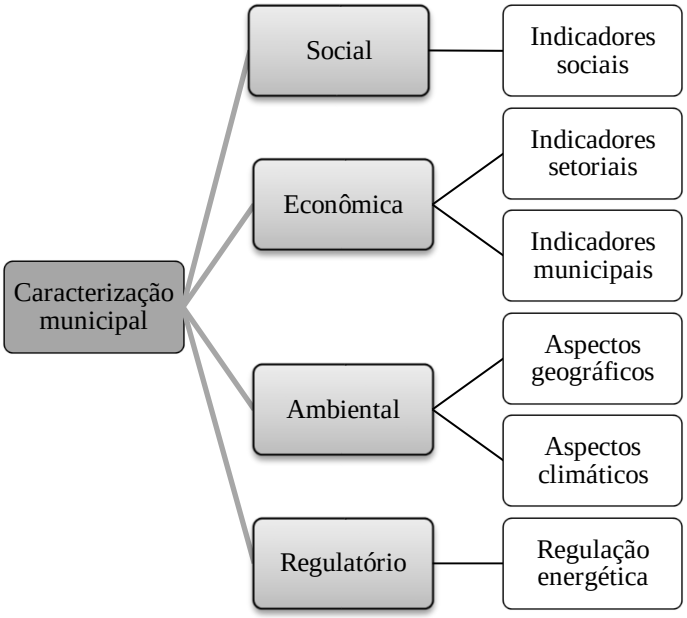


Figura 6 - Diagrama da caracterização municipal utilizada na pesquisa

Fonte: Elaboração própria, 2016.

3.1.1 Dados ambientais

A coleta de dados ambientais é separada em duas etapas distintas: dados geográficos e dados climáticos. Os dados geográficos abarcam os dados relacionados à geografia física da cidade, como o relevo, a vegetação e recursos hídricos. Além destes, informações relacionadas à geografia humana, mais especificamente sobre aos aspectos demográficos, como: crescimento populacional, grau de escolaridade da população e ocupação antrópica urbana e rural. Já, os aspectos climáticos, abarcam as características do clima local, como: a temperatura média, precipitação volumétrica e umidade relativa do ar, entre outros.

3.1.2 Dados sociais

Levantamento de dados dividido em duas etapas: indicadores sociais. Os indicadores sociais compreendem dados referentes ao desenvolvimento municipal e aos dados da infraestrutura da cidade.

3.1.3 Dados econômicos

Os dados econômicos coletados nessa etapa referem-se aos dados macroeconômicos, ou seja, dados relacionados a economia da cidade e os seus setores econômicos, entre eles os setores: público, residencial, industrial, agropecuário e de transporte.

3.1.4 Regulação vigente

Nessa etapa são obtidas as principais normas que regulam a produção de energia descentralizada nas cidades, bem como, as normas que regulam a eficiência energética e o uso do solo. Para tanto, deve-se analisar a regulamentação nacional, estadual e municipal, a fim de averiguar todos os âmbitos das regulamentações associadas à microgeração de energia.

3.2 Análise da demanda de energia: modelo balanço energético municipal

O modelo adotado nesse trabalho para analisar a demanda energética é o Balanço Energético da demanda de energia. Importante, salientar que a escolha pela execução do balanço energético da demanda de energia não foi aleatória. Devido a forma como está estruturado o sistema elétrico nacional, de forma interligada, e devido a tecnologia usada atualmente, é muito trabalhoso obter os dados de entrada da eletricidade. Em outras palavras, para obter a origem da eletricidade consumida na cidade. Pois, como a energia produzida no Brasil não é necessariamente consumida localmente. A Eletricidade produzida é disponibilizada para o sistema de transmissão e/ou distribuição que irá entregar essa energia nos lugares onde está sendo consumido. Tal fato, se modifica frequentemente. Portanto, seria necessário analisar todos os dados diários de entrada de energia de cada subestação da cidade. Espera-se com a introdução dos *smarts grids* que estas informações sejam contabilizadas automaticamente e direcionadas para um banco de dados. Por esta razão que este trabalho se detém em analisar apenas os dados de energia consumidos no local estudado.

O modelo utilizado nessa pesquisa é tipicamente do tipo *top-down*, pois, reúne os dados secundários consolidados disponibilizados pelos órgãos responsáveis, para em seguida, desagrega-los em diferentes segmentos. De forma geral, sua estrutura pode ser expressa como um processo, conforme mostra a figura 7.

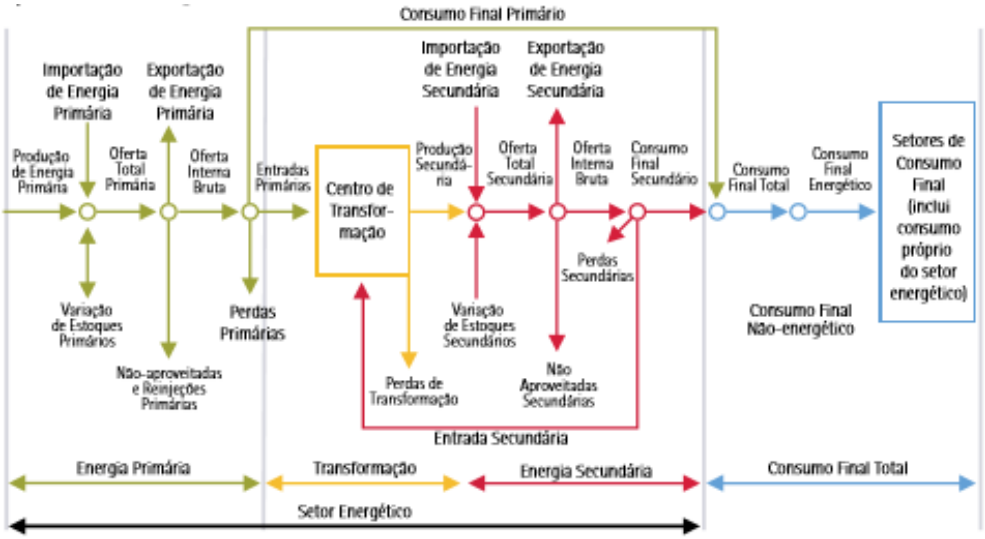


Figura 7 – Diagrama de um balanço energético

Fonte: Brasil, 2015a, p. 202.

A aplicação desse modelo para analisar a demanda de energia em um município pode ser dividida em quatro etapas principais: levantamento de dados; sistematização dos dados; conversão dos fatores físicos; e, análise setorial ou desagregação do consumo final por setor. Em cada uma das etapas envolveu um procedimento específico, conforme especificado abaixo.

3.2.1 Levantamento de dados

A primeira etapa na elaboração deste trabalho é o levantamento de dados. Para tanto, foram obtidos dados censitários, cadastrais em diferentes órgãos e instituições.

3.2.2 Sistematização dos dados

Como os dados obtidos provem de diferentes fontes, cada um possui uma classificação distinta, para tanto, é necessário estipular uma classificação única. Neste trabalho os dados foram classificados seguindo a mesma conceituação do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2015c, p. 202-208) e os resultados serão apresentados como mostra o quadro 2. Em seguida, será descrito com detalhes como cada linha e coluna da matriz do balanço é organizada. Salientando que, há outros modelos de balanço energético que, por exemplo, podem apresentar os energéticos divididos em dois tipos principais: fontes renováveis e fontes não renováveis de energia. No entanto, a escolha por um modelo usado tanto no balanço nacional quanto estadual garante a possibilidade de comparar os resultados.

Quadro 2 - Matriz do Balanço Energético Municipal

MATRIZ																										unidade: mil tep
BALANÇO ENERGÉTICO		FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA											FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA													
FLUXO DE ENERGIA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
		Petróleo	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Urânio U_3O_8	Energia Hidráulica	Lenha	Produtos da cana	Outras Fontes Primárias	Energia Primária Total	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Nafta	Querosene	Gás de Cidade e de Coqueria	Coque de Carvão Mineral	Urânio contido no UO_2	Eletricidade	Carvão Vegetal	Álcool Etílico Anidro	Outras Secundárias de Petróleo	Produtos Não Energéticos do	Alcatrão	Energia Secundária Total	Energia Total
1	Consumo Final																											
1.1	Consumo Final Não-Energético																											
1.2	Consumo Final Energético																											
1.2.1	Setor Energético																											
1.2.2	Residencial																											
1.2.3	Comercial																											
1.2.4	Público																											
1.2.5	Agropecuário																											
1.2.6	Transportes - Total																											
1.2.6.1	Rodoviário																											
1.2.6.2	Ferroviário																											
1.2.6.3	Aéreo																											
1.2.6.4	Hidroviário																											
1.2.7	Industrial - Total																											
1.2.7.1	Cimento																											
1.2.7.2	Ferro-gusa e Aço																											
1.2.7.3	Ferroligas																											
1.2.7.4	Mineração e Pelotização																											
1.2.7.5	Não-Ferrosos e Outros Metálicos																											
1.2.7.6	Química																											
1.2.7.7	Alimentos e Bebidas																											
1.2.7.8	Têxtil																											
1.2.7.9	Papel e Celulose																											
1.2.7.10	Cerâmica																											
1.2.7.11	Outros																											
1.2.8	Consumo Não-identificado																											
2	Ajustes																											

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: CAPELETTO; MOURA, 2015.

i. Fontes de energia primária

Produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica, etc.

Quadro 3 - Energia Primária

	Colunas da Matriz	Identificação
Fontes de Energia Primária	1 a 8	Petróleo, Gás Natural, Carvão Vapor, Carvão Metalúrgico, Urânio (U_3O_8), Energia Hidráulica, Lenha e Produtos da Cana (Melaço, Caldo-de-Cana e Bagaço).
Outras Fontes Primárias	9	Eólica, Resíduos Vegetais e Industriais para Geração de Vapor, Calor e Outros.
Total de Energia Primária	10	Somatório das Colunas 1 a 9.

Fonte: Brasil, 2015a, adaptado pela autora.

ii. Fontes de energia secundária

Produtos energéticos resultantes dos diferentes de transformação que tem como destino os diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação.

Quadro 4 - Energia secundária

	Colunas da Matriz	Identificação
Fontes de Energia Secundária	11 a 23	Óleo Diesel, Óleo Combustível, Gasolina (A e de Aviação), GLP, Nafta, Querosene (Iluminante e de Aviação), Gás (de Cidade e de Coqueria), Coque de Carvão Mineral, Urânio contido no UO^2 dos elementos combustíveis, Eletricidade, Carvão Vegetal, Álcool Etílico (Anidro e Hidratado), Biodiesel, e outras secundárias de Petróleo (Gás de Refinaria, Coque e outros).
Produtos Não Energéticos do Petróleo	24	Derivados do Petróleo que, mesmo tendo significativo valor energético, são utilizados para outros fins (Graxas, Lubrificantes, Parafinas, Asfalto e Solventes)
Alcatrão	25	Alcatrão obtido na transformação do Carvão Metalúrgico em Coque.
Total de Energia Secundária	26	Somatório das Colunas 11 a 25.

Fonte: Brasil, 2015a, adaptado pela autora.

iii. Total geral

Consolida todas as energias produzidas, transformadas e consumidas.

Quadro 5 - Total geral

	Linhas da Matriz	Identificação
Energia Total	27	Somatório algébrico das colunas 10 a 26.

Fonte: Brasil, 2015a, adaptado pela autora.

iv. Consumo final

Nestas colunas do balanço detalham-se os diferentes setores da atividade socioeconômica da área estudada que consomem energia tanto primária quanto secundária.

Quadro 6 - Consumo final

	Linhas da Matriz	Identificação
Consumo final	1	Energia primária e secundária que se encontra disponível para ser usada por todos os setores de Consumo Final, incluindo o Consumo Final energético e o Consumo Final Não Energético. Corresponde a soma das linhas 1.1. e 1.2.
Consumo final não energético	1.1	Quantidade de energia contida em produtos utilizados em diferentes setores para fins não energéticos
Consumo final energético	1.2	Agrega o consumo final dos setores: energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transporte, industrial e consumo não identificado. É a soma das linhas 1.2.1 a 1.2.8.
Consumo final do Setor Energético	1.2.1	Energia consumida nos Centros de Transformação e/ou nos processos de extração e transporte interno de produtos energéticos na sua forma final.
Consumo final Residencial	1.2.2	Energia consumida em todas as classes do setor residencial.
Consumo final Comercial	1.2.3	Energia consumida em todas as classes do setor comercial (inclui também o consumo do setor serviços menos o consumo relacionado aos serviços de transporte, como serviço de táxi, estes consumos estão inclusos no setor transporte).
Consumo final Público	1.2.4	Energia consumida em todas as classes do setor público
Consumo final Agropecuário	1.2.5	Energia total consumida em todas nas classes Agricultura e Pecuária.
Consumo Transportes Total	1.2.6	Energia consumida no setor transportes, englobando os segmentos rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário. É a soma das linhas 1.2.6.1 a 1.2.6.4.
Consumo Industrial Total	1.2.7	Energia consumida no setor industrial, englobando os segmentos cimento, ferro-gusa e aço, ferroligas, mineração e pelotização, não-ferrosos e outros da metalurgia, química, alimentos e bebidas, têxtil, papel e celulose, cerâmica e outros. É a soma das linhas 1.2.7.1 a 1.2.7.11.
Consumo não identificado	1.2.8	Corresponde ao consumo que, pela natureza da informação compilada, não pode ser classificado num dos setores descritos anteriormente.

Fonte: Brasil, 2015a, adaptado pela autora.

v. Ajustes estatísticos

Ferramenta utilizada para compatibilizar os dados correspondentes à oferta e consumo de energias provenientes de fontes estatísticas diferentes. Os ajustes para cada coluna são calculados da seguinte forma: Ajustes = Ofertas Interna Bruta (+) Total Transformação (+) Perdas na Distribuição e Armazenagem (-) Consumo Final.

Quadro 7 - Ajustes

	Linhas da Matriz	Identificação
Ajustes	2	Quantifica os déficits e superávits aparentes de cada energia, produtos de erros estatísticos, informações ou medidas.

Fonte: Brasil, 2015a, adaptado pela autora.

vi. Classificação setorial

A classificação de consumo setorial segue à atual Classificação Nacional de Atividades Econômicas versão 2.0 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

3.2.3 Conversão dos fatores físicos

Após a sistematização dos dados o passo seguinte é transformá-los em uma única unidade de medida, uma vez que, cada energético é mensurado em uma unidade de medida que representa uma quantidade física ou energética que neste trabalho serão chamadas de unidades originais. Normalmente, estas unidades seguem o Sistema Internacional de Unidades (SI) que para energia é o Joule (J), porém, neste trabalho optou-se por utilizar a unidade tonelada equivalente de petróleo (tep), pois segundo Capeletto e Moura (2011, p.15):

> Mesmo sendo o Joule a unidade do sistema métrico internacional de energia, emprega-se em balanços energéticos a unidade tep, provavelmente por sermos a civilização do petróleo, bem como pelo fato de que se expressos em Joule os valores seriam numericamente muito grandes.

Uma tonelada equivalente de petróleo é uma unidade de medida definida como o calor liberado na combustão de uma tonelada de petróleo padrão, ou seja, aproximadamente

$41,87x10^7$J (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Os fatores de conversão de cada energético são calculados com base no poder calorífico superior de cada um em relação ao do petróleo, cerca de 10800 kcal/kg. Como o poder calorífico do petróleo depende da sua composição química, este é variável, assim, a cada ano este valor é redefinido. No entanto, este valor dificilmente muda, pois o numerador e o denominador se alteram, praticamente, de maneira proporcional.

A fim de ilustrar como se calcula uma unidade de conversão segue um exemplo para conversão da energia hidráulica em tep. Para tanto, divide-se o coeficiente de equivalência médio 860 kcal/kWh (segundo o primeiro princípio da termodinâmica), pelo poder calorífico superior do petróleo (860/10800) fornecendo um fator de conversão de, aproximadamente, 0,08 tep/MWh (PATUSCO, 1998).

3.2.4 Análise setorial

Com todos os energéticos em uma única unidade de medida, é possível elaborar diferentes análises, estimativas e previsões. Neste trabalho optou-se por realizar uma análise setorial, em outras palavras, desagregar o consumo final setorial em subsetores e compará-los com diferentes dados (por exemplo, demográficos e socioeconômicos). Tal abordagem, intenta agregar ao balanço uma maior compreensão dos dados disponíveis.

O primeiro estágio desta etapa já está detalhado no balanço e consiste em dividir a cidade em uma série de setores e subsetores, como: residencial, energético, indústria de alimentos e bebidas, transporte rodoviário, etc. Num segundo momento, mais subdivisões são realizadas de acordo com as dados disponíveis, destacando que quanto maior a desagregação maior será a compreensão destes. Neste caso, os dados foram desagregados em outras subdivisões e associados com dados socioeconômicos e populacionais.

3.3 Levantamento do potencial de energia

Para avaliar o potencial microgeração de energia solar fotovoltaica foram realizados o levantamento do potencial teórico, técnico e de viabilidade, baseada na conceituação de Resch et al. (2008).

3.3.1 Potencial teórico

O método usado para avalizar o potencial teórico da energia solar em Porto Alegre foi o mapeamento. Para tanto, foram obtidos junto ao Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2016) dados da incidência da irradiação solar. Em seguida, foi utilizado o software ArcGIS para plotar os dados no mapa da cidade.

3.3.2 Potencial técnico

O potencial técnico realizado estimou a produção de eletricidade através do simulador SolarGIS-pvPlanner (SOLARGIS, 2016a). De forma geral, o pvPlanner integra modelos de simulação numérica desenvolvidos e implementados pela Solargis Company que resultam da mais recente pesquisa com novos bancos de dados de clima usando a tecnologia de programação Google Web Toolkit (TARIGAN; DJUWARI; PURBA, 2014). Este simulador foi escolhido, pois além de considerar os dados de irradiância solar[31] ele considera a influência de alguns dos aspectos particulares do local em estudo. Mais especificamente, o modelo calcula a influência da: refletância na superfície de módulos, do autossombreamento do sistema fotovoltaico e as o sombreamento causado pelas características do terreno.

[31] Irradiância ($Wm^{2)}$ é a taxa na qual a energia radiante incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície.

Em relação ao sombreamento causado pelo terreno, a fim de estimar a influência causada pelo desenho urbano esse simulador oferece a possibilidade de alterar a linha do horizonte e incluir o impacto de outros objetos próximos de sombreamento, como árvores, mastros ou edifícios vizinhos em simulações (SOLARGIS, 2016b). Isto pode ser feito diretamente desenhando uma nova linha de horizonte ou inserindo pares de dados de azimute e elevação solar expressos em graus sexagesimais. Em outras palavras, permite alterar a característica, neste caso a altitude, da superfície do terreno que está no horizonte do local em que o sistema fotovoltaico será instalado. Contudo, o sombreamento de características locais, tais como de construção próxima, estruturas ou vegetação não são considerados.

Considerar estes aspetos é muito importante para analisar a irradiância em áreas com topografia complexa, como de uma cidade. Uma vez que, em zonas com características topográficas complexas criam-se fortes gradientes locais de insolação devido à variabilidade na elevação, à orientação da superfície (declive e panorama) e ao sombreamento (TOVAR-PESCADOR et. al., 2006). Martins (2014, p. 34) salienta que "A morfologia urbana e a implantação das construções no tecido urbano são os principais fatores que afetam a acessibilidade aos ventos, insolação, e à luz do dia nos espaços urbanos".

Este simulador, também, caracteriza a temperatura de desempenho operacional dos módulos de acordo com condições climáticas locais e considera os efeitos da poluição. Dessa forma, esse simulador apresenta os recursos necessários para estimar a produção de energia solar em áreas urbanas. Apesar das suas limitações tecnológicas que ainda não considera todo o espectro urbano.

Em relação à simulação numérica para avaliar a produção de eletricidade fotovoltaica os dados são agrupados em séries de tempo de 15 minutos, em que há dois tipos de dados de entrada (*inputs*) a serem definidos para executar a simulação. O primeiro é o parâmetro do local e o segundo é o parâmetro técnico referente ao sistema fotovoltaico. Os parâmetros do local são fornecidos pelo próprio banco de dados Solar GIS, como os: parâmetros de irradiação solar, parâmetros de temperatura do ar, entre outros. Já, os parâmetros técnicos são fornecidos pelo usuário pvPlanner, caso contrário, os valores padrão são levados em consideração.

O processo de cálculo deste simulador é desenvolvido por um modelo computacional, conforme mostra o esquema na figura 8. Para tanto, são necessários dois tipos de inputs

básicos: os parâmetros fornecidos pelo banco de dados Solargis; e, os parâmetros técnicos que devem ser fornecidos pelo usuário ou a partir de valores padrão que devem ser levados em consideração.

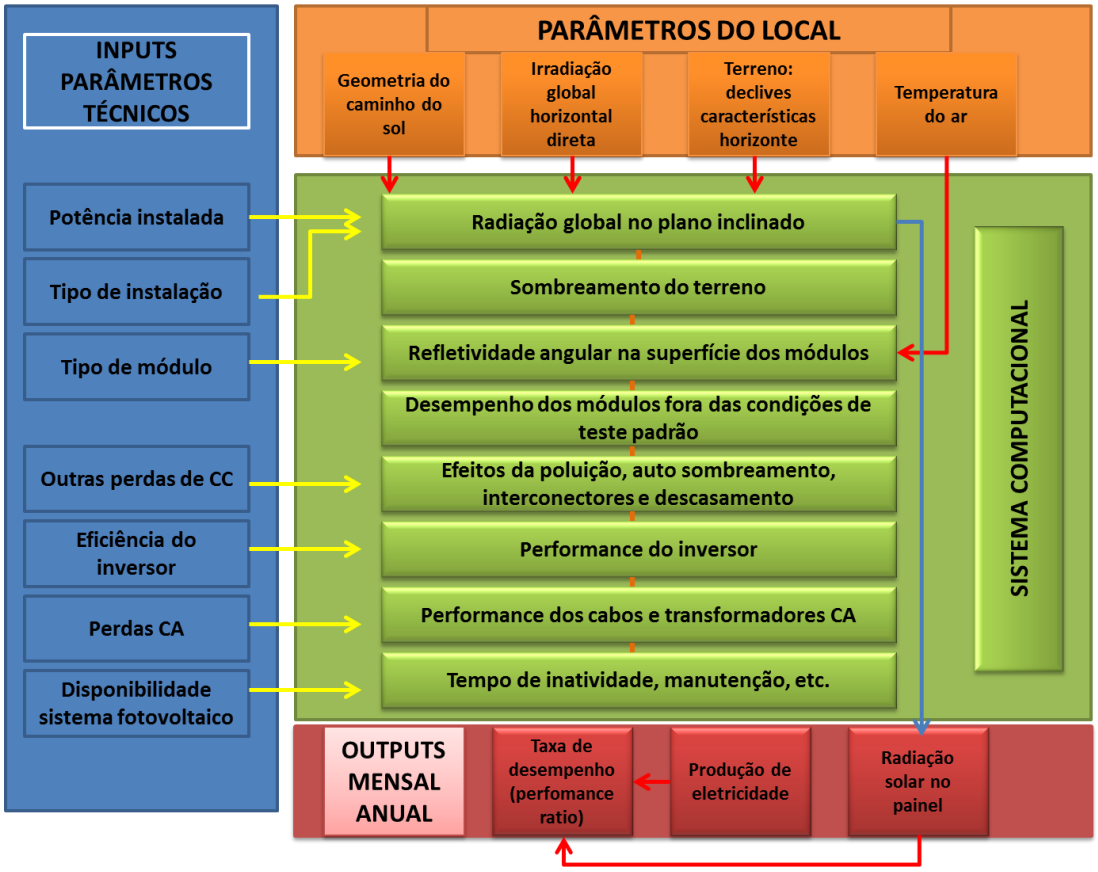


Figura 8 - Modelo de simulação do potencial técnico

Fonte: Solargis, 2016b, adaptada pela autora.

Cada um dos parâmetros de entrada é executado num processo computacional de oito passos principais, descritos a seguir.

Passo 1: Irradiação global na superfície plana

Inicialmente, o simulador considera uma conversão de 100% da irradiação global que incide sobre o plano em condições de teste padrão. Já, a irradiação global na superfície do plano inclinado é calculada a partir dos dados da Irradiação Global Horizontal, Irradiação Normal Direta, albedo do terreno e posição do sol instantânea dentro de intervalo de tempo de 15 minutos (SHUKLA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2016).

Passo 2: Perdas devido ao sombreamento terreno

A redução da irradiação global que incide sobre o plano inclinado é calculada assumindo a obstrução tanto dos próprios módulos fotovoltaicos quanto do terreno em que eles estão instalados (SOLARGIS, 2016b). O sombreado devido às características do terreno é calculado pela desagregação usando um Modelo Digital de Elevação[32] (MDE) SRTM-3[33] e a altitude do horizonte (SOLARGIS, 2016b). Como mencionado anteriormente, não é considerado o sombreamento a partir dos objetos mais próximos. Porém, há a opção de alterar a linha do horizonte e incluir a altitude do horizonte e, consequentemente, o impacto do sombreamento deste sobre o caminho solar anual (SOLARGIS, 2016b). Para isto, deve-se adicionar uma imagem do horizonte da área urbana escolhida e redesenhar o horizonte do terreno.

Passo 3: Perdas devido a refletividade angular na superfície dos módulos

As perdas de refletividade angular sobre a superfície dos módulos fotovoltaicos e a magnitude dos seus efeitos dependem da posição relativa do sol e do plano do módulo (SHUKLA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2016). A precisão dos cálculos das perdas de refletividade angular depende da limpeza e das propriedades específicas da superfície do módulo (SHUKLA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2016).

Passo 4: Perdas devido ao desempenho do módulo PV fora das condições de teste padrão

A eficiência de conversão não é linear e depende da distribuição dos valores de irradiância e da temperatura do local. Sendo, a temperatura o parâmetro principal de influencia sobre os módulos na produção de eletricidade. Isto é representado no pvPlanner através de um coeficiente de temperatura dos pontos de saída de máxima potência (P_{MPP}). Os valores dos coeficientes são aproximados, pois o coeficiente térmico muda com a irradiância e a temperatura do módulo. A tabela 1 mostra os coeficientes para cada tipo de módulo.

[32] "Um modelo digital de elevação é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Mesmo sendo mais comumente associados à altimetria, a partir da construção de um MDE também é possível calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamento nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais" (FERREIRA; COSTA; CANDEIAS, 2011, p. 2325 apud ANDRADE, 2008).

[33] Shuttle Radar Topography Mission (STRM): Atividade realizada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) para recolher os dados topográficos sobre superfícies de terra da Terra, criando os dados globais do conjunto de elevações de terreno (SOLARGIS, 2016b).

Tabela 1 - Coeficientes de temperatura para cada tipo de módulo usado no pvPlanner

Tipo de tecnologia do módulo	Coeficiente de temperatura do P_{MPP} (%/ºC)
Sílicio-Cristalino (c-Si)	-0,44
Silício amorfo (a-Si)	-0,21
Telureto de cádmio (CdTe)	-0,25
Disseleneto-Cobre-Índio (CIS)	-0,36

Fonte: Solargis, 2016b, adaptado pela autora.

Passo 5: Perdas devido a corrente contínua (CC)

Uma série de efeitos podem causar perdas na energia em CC gerada pelos módulos, como:

• Incompatibilidade devido ao ponto de operação dos diferentes módulos conectados em um inversor, as perdas de calor em interconexões e cabos; estas perdas dependem do projeto e dos componentes da central solar;

• sujeira e poeira, fezes de aves, formação de gelo, entre outros;

Neste simulador as perdas na seção de CC podem ser determinadas pelo usuário. Tipicamente, a magnitude total de perdas CC, varia de 5% a 9% ou mais, dependendo do local e da configuração do sistema (SOLARGIS, 2016b). A tabela 2 mostra as taxas de variação consideradas no simulador para sistemas de pequeno e médio porte.

Tabela 2 - Variação das perdas CC esperadas e tamanho dos sistemas

Outros tipos de perdas CC esperadas	Pequeno de até 40 kW (telhado)	Médio de 40 a 100 kW (telhado ou solo)	Pequeno de até 40 kW (telhado)	Médio de 40 a 100 kW (telhado ou solo)
	Baixo	Alto	Baixo	Alto
Sombreamento externo	0,0%	5,0%	0,0%	5,0%
sombreamentre ente fileiras	0,0%	2,0%	0,0%	3,0%
Poluição, sujicidade	3,0%	5,0%	2,0%	5,0%
Neve, geada	0,0%	4,0%	0,0%	3,0%
Perdas nos cabos	0,2%	0,5%	0,2%	0,5%
Descasamento	0,5%	2,0%	0,5%	2,0%
Perdas totais	3,7%	17,2%	2,7%	17,2%

Fonte: Solargis, 2016b, adaptado pela autora.

Importante salientar que, apesar da análise da produção de energia pelos módulos fotovoltaicos ser determinado pela validade dos seus componentes, as perdas por degradação do sistema fotovoltaico não são considerados no pvPlanner. De acordo com o Solargis (2016b), a produção atual de módulos e componentes do sistema fotovoltaico já é uma tecnologia madura e, portanto, uma degradação muito pequena pode ser atribuída. Com base nas experiências de campo e a experiência com parques fotovoltaicos comerciais, especialmente com a tecnologia C-Si, uma taxa de degradação inferior a 0,5% poderia ser considerada (SOLARGIS, 2016b). Além disso, muitos fabricantes de módulos fornecem uma garantia de produção de energia dupla para seus produtos (incluindo os módulos propostos no pvPlanner), tipicamente 90% da potência máxima inicial para os primeiros 10 anos e 80% da potência máxima original para os próximos 15 anos, o que corresponde à máximo de 1% ou 0,67% de degradação anual linear num cenário de pior caso.

Passo 6: Perdas no inversor de conversão de DC para AC

A eficiência dos inversores varia de 93,5% para 97,5% (SHUKLA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2016). Devido à especificação técnica brasileira a eficiência do inversor não pode ser menor do que 94%.

Passo 7: Perdas no transformador de corrente alternada (CA)

Perdas na seção do transformador CA dependem da arquitetura do sistema. Já que, a saída do inversor é ligada à rede elétrica através do transformador. Estas perdas variam geralmente de 1,5% a 2,5% (SOLARGIS, 2016b), conforme mostra tabela 3.

Tabela 3 - Faixa de perdas CA esperados e tamanho dos sistemas fotovoltaicos

Tipos de perdas CA	Pequeno de até 40 kW (telhado)	Médio de 40 a 100 kW (telhado ou solo)	Pequeno de até 40 kW (telhado)	Médio de 40 a 100 kW (telhado ou solo)
	Baixo	Alto	Baixo	Alto
Perdas no cabeamento	0,2%	0,5%	0,2%	1,0%
Transformador	0,0%	0,0%	0,0%	3,0%
Perdas totais	0,2%	0,5%	0,2%	4,0%

Fonte: Solargis, 2016b, adaptado pela autora.

Passo 8: Disponibilidade

Devido a vários eventos perturbadores a produção de energia fotovoltaica anual pode ser interrompida. Os problemas podem ser causados por falha do inversor, cabos, conexões, etc. Probabilidade de falha aumenta com a idade do sistema. Ressaltando que a disponibilidade técnica do sistema de PV não inclui paralisações causadas por falhas de rede. Usualmente, se assume uma perda na disponibilidade de 0,5% a 2% (SHUKLA; SUDHAKAR; BAREDAR, 2016). Por fim, a precisão dos resultados é mostrada na tabela 4, abaixo.

Tabela 4 - Subdivisão das perdas e incertezas do pvPlanner para um sistema fotovoltaico de pequeno porte

Descrição	Faixa de perda (%)		Incerteza à P90[34] (%)		Comentários
	Baixo	Alto	Baixo	Alto	
Irradiação global horizontal	-	-	± 4,0	± 8,0	Depende do clima local
Modelo de transposição	-	-	± 0,0	± 2,0	Nenhuma limitação por ângulo é considerada para sistemas com rastreamento
Perdas devido a sombras do terreno	0,0	3,0	± 0,0	± 4,0	Depende do local, em casos extermos pode ser maior que 3,0%
Perdas devido a refletividade angular	1,0	5,0	± 0,2	± 0,5	
Perdas do desempenho no módulo PV devido às condições fora do padrão de teste	2,0	15,0	± 2,0	± 3,0	Valores gerais para cada tipo de tecnologia de PV usada, em casos extremos podem estar fora da faixa de 2,0-15,0%
Sombreamento externo	0,0	5,0	± 0,0	± 5,0	Para casos extremos as perdas por sombreamento podem ser maiores que 5,0%
Sombremento entre as linhas	0,0	2,0	± 0,0	± 1,0	Aplicável somente para módulos instalados em linhas inclinadas
Poluição, sujicidade	3,0	5,0	± 1,0	± 2,5	
Neve, geada	0,0	4,0	± 0,0	± 2,0	
Perdas cabos CC	0,2	0,5	± 0,2	± 0,4	
Descasamento CC	0,5	2,0	± 0,2	± 0,8	
Eficiência de potencia do inversor	2,0	6,0	± 0,5	± 1,0	
Perdas cabos CA	0,2	0,5	± 0,2	± 0,4	
Perdas no transformador	0,0	0,0	± 0,0	± 0,0	Normalmente, conectados sem transformador
Usina de energia	1,0	3,0	± 0,1	± 0,7	
Rede de distribuição	0,0	0,0	± 0,0	± 0,0	Depende do acordo de compra de energia
Total	9,5	42,1	± 4,6	± 11,5	

Fonte: Solargis, 2016b, adaptado pela autora.

[34] A incerteza total para o valor anual de rendimento de eletricidade é calculado fazendo a soma quadrática de todas as incertezas relacionadas com cada passo da simulação. Valores de incerteza são geralmente expressos em intervalos P90 de confiança (80% de probabilidade de ocorrência).

3.3.3 Potencial realizável

Para o potencial realizável ou de viabilidade foi feito uma avaliação financeira utilizando três figuras de mérito: (1) tempo de retorno simples do investimento inicial (*payback*); (2) Taxa interna de retorno (TIR); e (3) Valor Presente Líquido (VPL). Para cada indicador da avaliação financeira foi usada uma equação, conforme indicado abaixo:

(1) Para calcular o payback usa-se a seguinte expressão:

$$Payback = \frac{II_0}{FC} \quad (1)$$

Onde: o II_o é o investimento inicial; e, o FC é fluxo de caixa anual.

(2) Para o VPL:

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+i)^t} - II_0 \quad (2)$$

Onde, i é a taxa de desconto; n é o número de anos; II_0 é o investimento inicial em t = 0; e, FC_t é o fluxo de caixa para t de 1 a n.

(3) Para a TIR:

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = II_0 \quad (3)$$

Onde: r é a taxa de desconto que satisfaz VPL = 0, (r = TIR); n é o número de anos ou total de períodos; II_0 é o investimento inicial em t = 0; e, FC_t é o fluxo de caixa.

Por fim, para obter o fluxo de caixa mensal é necessário primeiro determinar a quantidade de energia mensal que cada sistema fotovoltaico irá gerar em cada região estudada, para tanto foi utilizada a seguinte equação:

$$E_m = \frac{G_i \times PR \times P_0}{12} \quad (4)$$

Onde: E_m é a Energia elétrica entregue mensalmente (kWh); G_i é a Irradiação global anual no plano inclinado (kWh/m²); PR é o Performance Ratio (Desempenho Global do Sistema); e, P_0 é a Potência nominal instalada (kW).

4 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO SISTEMA ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE

Nessa dissertação a cidade de Porto Alegre foi escolhida como objeto de estudo. O objetivo é compreender o sistema energético, através de um estudo aprofundando sobre a demanda e a oferta de energia na cidade integrada à realidade local. Como demostrado no capítulo anterior foram adotadas diferentes ferramentas e métodos para analisar tanto a demanda quanto a oferta de energia. Esse capítulo agrega os resultados da análise da demanda e da oferta de energia juntamente com todos os dados da caracterização do município de Porto Alegre. O estudo de caso será apresentado na seguinte ordem: caracterização do município, análise da demanda de energia e, por fim, avaliação da oferta de energia, que compreende o levantamento do potencial teórico, técnico e realizável da energia solar fotovoltaica. As discussões dos resultados serão abordadas no capítulo 5.

4.1 Caracterização municipal

Esta caracterização municipal compreende o levantamento dos principais dados e indicadores sociais, econômicos, ambientais e regulatórios, para auxiliar no entendimento do contexto local.

4.1.1 Aspectos ambientais

Os aspectos ambientais envolvem os dados relacionados à geografia física e social, os dados levantados referem-se a: localização geográfica, vegetação e ocupação territorial, expansão da ocupação urbana, aspectos demográficos e aspectos climáticos.

4.1.1.1 Localização

O município de Porto Alegre é a capital do estado do Rio Grande do Sul e a capital mais meridional do Brasil, localizada na região leste do estado, conforme mostra a figura 9. Mais precisamente a cidade é limitada pelos paralelos 30º00'S e 30º06'S e pelos meridianos 51º09'O e 51º15'O (HASENACK, 1989). A cidade é limitada pela orla fluvial do lago Guaíba e pelos seguintes municípios: Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Eldorado do Sul, Nova Santa Rita, Triunfo e Viamão (WIKIPEDIA, 2016).

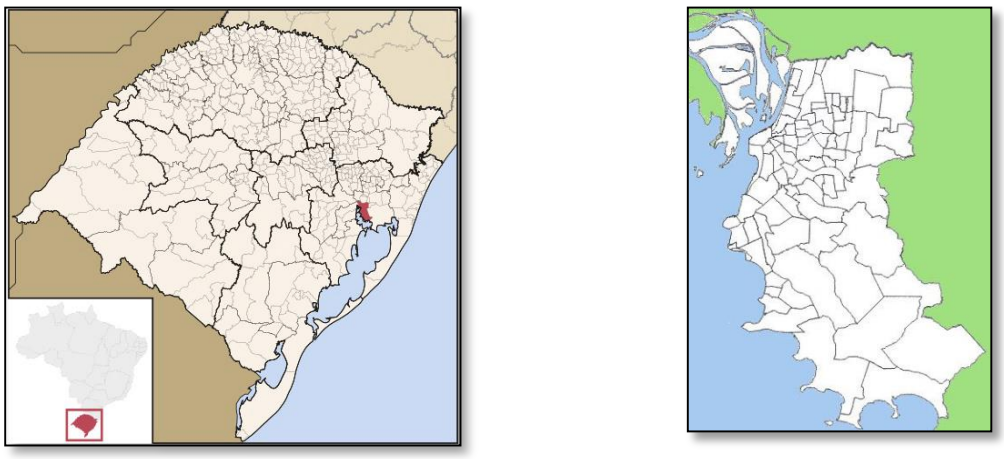


Figura 9 - Mapa da localização de Porto Alegre no Rio Grande do Sul e mapa da cidade com a subdivisão dos bairros

Fonte: Wikipedia, 2006; Wikimedia, 2014.

Seu território abrange uma área de, aproximadamente, 497 km^2 de planície circundada por 40 morros com diferentes níveis de relevo que abrangem 65% da sua área (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, s.d.). Também, fazem parte do seu território 16 ilhas que ocupam uma área de 4.500 hectares e fazem parte do Parque Estadual Delta do Jacuí juntamente com as demais ilhas pertencentes aos municípios vizinhos (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, s.d.).

4.1.1.2 Vegetação e ocupação territorial

De acordo com Hasenack (2008) no município estão presentes características dos biomas Mata Atlântica e Pampa, contudo restam somente 24,1% da cobertura vegetal original. A figura 10 mostra com maior detalhamento a cobertura vegetal e a ocupação antrópica existente nos dias de hoje no município de Porto Alegre.

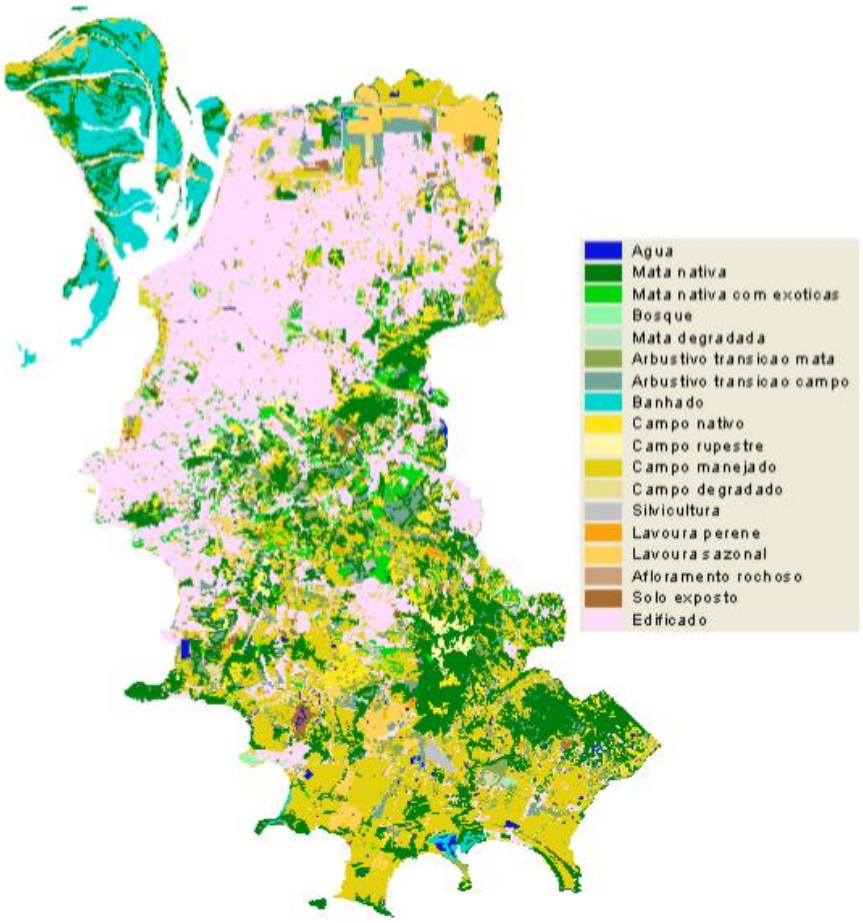


Figura 10 - Mapa da vegetação e da ocupação do município de Porto Alegre, ilustrando a distribuição espacial das classes mapeadas

Fonte: Fundação de Apoio da Universidade do Rio Grande Do Sul, 2004.

Como mostra a figura 11, as áreas edificadas estão dispostas em extensa área do município. Segundo Hasenack (2008) essas áreas fazem parte da ocupação antrópica urbana de Porto Alegre e podem ser divididas em 6 subclasses principais: edifícios, edifícios e casas, casas, casas isoladas, ocupação espontânea e pavilhões. Em que, cada uma destas subclasses são caracterizadas por sua forma de ocupação, como descrito a seguir:

- Edifícios: áreas com ocupação predominantemente de edifícios individuais ou blocos de edifícios de quatro ou mais pavimentos;
- Edifícios e casas: áreas com ocupação predominantemente residencial, com proporção equivalente de casas e edifícios, sendo estes geralmente de pequeno porte. São áreas em fase de adensamento, com casas gradualmente sendo substituídas por edifícios;
- Casas: áreas com ocupação predominantemente de residência unifamiliares em loteamentos. O desenho urbano é variado, ou seja, os terrenos tem tamanho bem variável, mas o arruamento é regular;
- Casas isoladas: áreas com ocupação predominantemente de casas, porém dispostas em terrenos grandes. Resultando num maior afastamento entre as residências. Têm baixa densidade de ocupação e apresentam grande área verde;
- Ocupação espontânea: Geralmente área de ocupação irregular, sem padrão viário e com várias casas por terreno. As ruas são sinuosas em áreas consolidadas, a densidade de casas de tamanho reduzido é elevada;
- Pavilhões: Edificações de grande superfície construída, como fábricas, armazéns, galpões depósitos, etc. Inclui também cemitérios.

O quadro 8 apresenta a proporção que cada uma destas subclasses ocupam no território do município e, além disso, a proporção da vegetação natural.

Quadro 8 - Classes e subclasses da vegetação e da ocupação do município de Porto Alegre

Classe	Subclasse		Legenda do mapa	Proporção parcial (%)	Proporção total (%)
Vegetação	Vegetação natural	Arbórea	Mata native	21,51	61,02
			Mata degradada	0,63	
			Bosque	0,62	
		Arbustiva	Vegetação arbustiva	3,86	
		Herbácea	Banhado	5,85	
			Campo native	7,43	
			Campo manejado	21,12	
		Áreas sem vegetação	Afloramento rochoso	0,09	0,09

continua...

continuação

Quadro 8 - Classes e subclasses da vegetação e da ocupação do município de Porto Alegre

Classe	Subclasse		Legenda do mapa	Proporção parcial (%)	Proporção total (%)
Ocupação	Antrópico rural	Cultivos	Cultivo temporário	3,24	38,27
			Cultivo permanente	0,28	
			Silvicultura	0,43	
		Edificações rurais	Edificações rurais diversas	0,62	
	Antrópico urbano	Edificações urbanas	Edifícios	3,03	
			Edifícios e casas	2,99	
			Casas	11,97	
			Casas isoladas	1,93	
			Ocupação espontânea	3,32	
			Pavilhões	6,48	
		Áreas não edificadas	Vias	2,66	
			Solo exposto	1,32	
	Água	Corpos d'água	Água	0,62	0,62
Total				100	100

Fonte: Hasenack, 2008, adaptado pela autora, 2016.

4.1.1.3 Expansão da ocupação urbana

Como visto anteriormente, a ocupação antrópica em Porto Alegre, dados do ano 2004, ocupava, aproximadamente, 40% do território do município. Voltando um pouco na história da cidade para compreender como esse processo ocorreu, foi possível observar que a ocupação se deu a partir de um núcleo comercial e cultural e se expandiu de forma radial, dentro de um modelo urbano espanhol e português (KNIJNIK; LOSS, 1994). No entanto, devido a uma conjuntura que envolve as dimensões sociais, geográficas e históricas, consolidaram uma distribuição da população de forma assimétrica. Onde, na região norte e nordeste prevaleceram o adensamento populacional e o desenvolvimento comercial e de serviços e na região sul da cidade se consolidou como uma região com menor densidade demográfica e com vocação para o lazer, turismo e produção primária.

Segundo Knijnik e Loss (1994) a região ao norte e a nordeste do centro da cidade foi favorecida ao desenvolvimento comercial e à concentração populacional devido a dois fatores principais. O primeiro foi a localização geográfica, por estar na rota para o litoral e região

serrana, regiões estas em que há uma grande troca comercial. Em segundo lugar, pela a região possuir terrenos amplos, favorecidos pelo relevo de colinas e pelos aterramentos realizados na década de 1940 para conter o avanço das águas do lago Guaíba durante o período de cheias (KNIJNIK; LOSS, 1994; DIAS; MOURA, 2012).

A região ao sul do centro da cidade no início do processo da expansão urbana porto alegrense, devido principalmente à barreira topográfica, foi aproveitada para a pequena agricultura e pecuária (KNIJNIK; LOSS, 1994). Dessa forma, a estrutura de elevações, formadas pelo Morro do Osso e pelo Morro Pelado, cujas linhas principais partem de Viamão e dirigem-se ao centro da cidade, que iniciaram a desenhar a cidade como a conhecemos hoje. Contudo, com a crescente expansão urbana, a região sul da cidade é hoje uma das regiões que mais cresce no município (DIAS; MOURA, 2012). A figura 11 ilustra de forma clara a expansão urbana sobre Porto Alegre, desde 1772 até 2010.

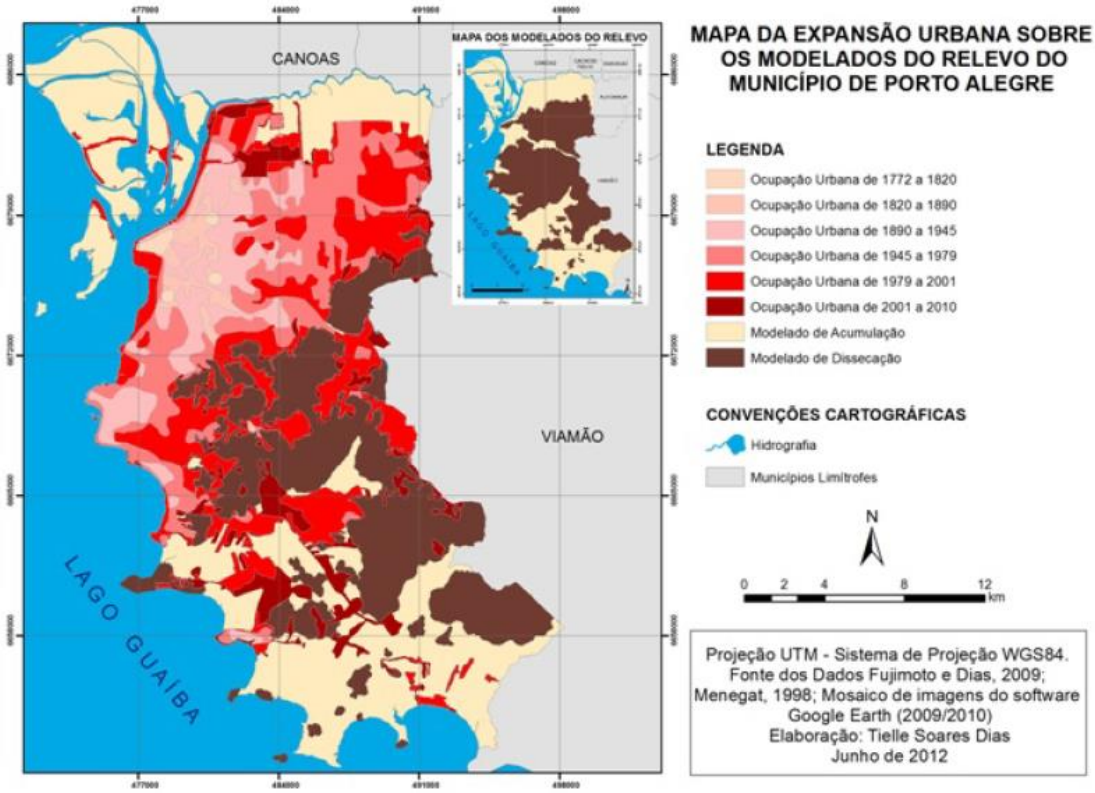


Figura 11 – Mapa da expansão urbana sobre o modelados de relevo no município de Porto Alegre

Fonte: Dias; Moura, 2012, p. 2.

O quadro 09 resume as principais características de cada período destacado na figura acima.

Quadro 9 - Caracterização da expansão urbana em relação aos modelados do relevo

Período	Área ocupada em relação à área atual do município	Área ocupada em modelado de acumulação[35]	Área ocupada no modelado de dissecação[35]	Principais características do período
1772 a 1820	1%	38%	62%	Ocupação predominantemente das áreas de colinas, na atual área central de Porto Alegre, com alguns agrupamentos localizados em áreas de planície.
1820 a 1890	2%	46,50%	53,50%	Aumento populacional devido às imigrações; são iniciadas as ligações entre os agrupamentos mais distantes e o centro do município, através das vias de acesso, preferencialmente instaladas juntas ao s cursos d´água cujo acesso era facilitado.
1890 a 1945	9%	39%	61,10%	O incremento de novas tecnologias, principalmente, relacionadas aos transportes favorece a ocupação das áreas mais elevadas. É iniciada a ocupação das áreas entre os antigos agrupamentos, permitindo acesso direto entre eles. Ocupação preferencial das áreas mais elevadas devido à ocorrência de diversos eventos de inundação nas áreas de planície.
1945 a 1979	22%	33,30%	67,70%	Foram realizadas, neste período, grandes obras de infraestrutura que permitiram a ocupação efetiva de diversas áreas, antes impróprias, ou que apresentavam perigo à ocupação, com destaque para a canalização do arroio Dilúvio e os aterros na orla. É intensificada a ocupação de áreas de morro e da zona sul do município.
1979 a 2001	40%	35,40%	64,60%	Extensiva ocupação de praticamente todos os padrões de formas de relevo, incremento da ocupação em áreas de planície, devido principalmente a ocupação da área de aterro no centro; intensificação da ocupação das planície Delta e das áreas de planície da zona sul.
2001 a 2010	47%	38,40%	61,70%	Intensa ocupação do município, com tendência de aumento de áreas planas e mais rebaixadas do terreno, representadas pelos modelados de acumulação. O predomínio da expansão urbana ocorre em direção à zona sul e ao extremo norte do município.

Fonte: Dias; Moura, 2012, p. 2, adaptado pela autora, 2016.

[35] "A compartimentação do relevo proposta por Fujimoto e Dias (2009) evidencia no município de Porto Alegre 12 padrões e tipos de formas do relevo, estes podem ser agrupados em modelados de dissecação e de acumulação. O modelado de dissecação inclui os padrões em forma de morros e colinas e o modelado de acumulação inclui os padrões em forma de planícies e patamares planos. Entende-se por modelados de dissecação aqueles nos quais predomina a morfodinâmica erosiva e modelados de acumulação aqueles nos quais ocorre predominantemente a morfodinâmica de deposição de sediments" (Dias; Moura, 2012, p. 1).

Como mencionado anteriormente, no quadro 9, a evolução dos transportes influenciou fortemente a expansão da população sobre o território do município. Assim, é importante relacionar a expansão urbana com o desenvolvimento da tecnologia e o uso da energia. Knijnik e Loss (1994) ressaltam que até o final do século 19 a indústria crescia paulatinamente e a cidade ainda possuía um aspecto colonial. Nesse período os principais energéticos usados eram: eólica, tração animal, lenha e carvão mineral. Contudo, com o advento das máquinas a vapor e a entrada dos derivados do petróleo passou a mudar aceleradamente a cidade. A partir de então, iniciou a era do transporte rodoviário em detrimento do transporte fluvial e ferroviário. “Esses fatos propiciaram uma expansão urbana desenfreada, já que a disponibilidade de transporte rápido, que encurta distâncias, permite a instalação de moradias afastadas do centro de produção e comércio” (KNIJNIK; LOSS, 1994, p. 22).

4.1.1.4 Aspectos demográficos

De acordo com o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016b) a estimativa da população de Porto, em 2015, era de 1.476.867 habitantes e a densidade demográfica de 2.974 hab/km². O gráfico 1 mostra o crescimento demográfico na cidade de Porto Alegre desde 1940 até 2015.

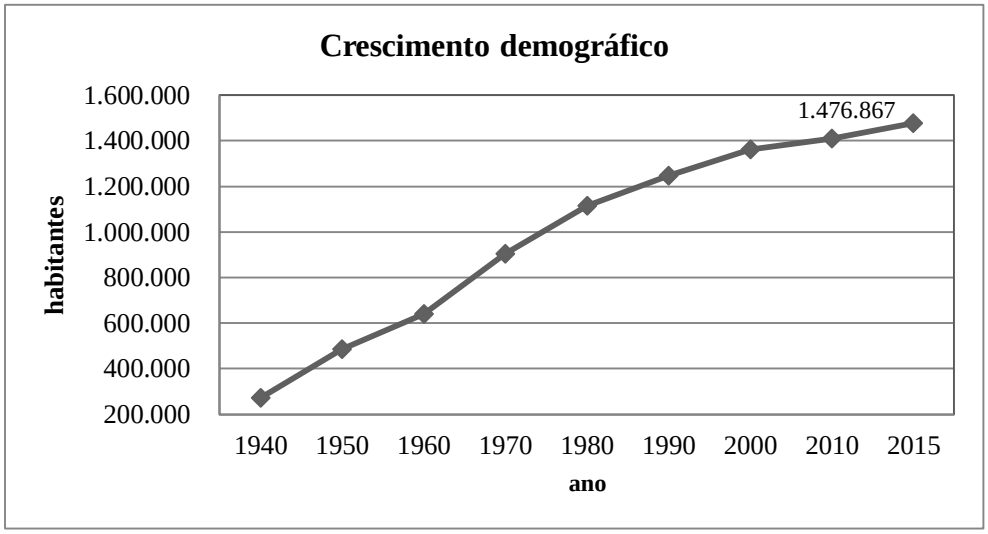


Gráfico 1 - Crescimento demográfico de Porto Alegre desde 1940 até 2015

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: KNIJNIK; LOSS, 1994; INSTITUTO BRASILEITO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016b.

Em seguida a tabela 5 resume os principais dados demográficos desde 1960 até 2015.

Tabela 5 - Principais aspectos demográficos do município de Porto Alegre de 1960 à 2015

Ano	População total (hab)	População rural (hab)	Taxa de urbanização (%)	Densidade demográfica (hab/km²)[36]	Domicílios permanentes	Pessoas por domicílio
1960	641.173	-	-	1.358,85	-	
1970	903.175	15.815	98,3	1.914,11	-	
1980	1.114.967	10.627	98,9	2.362,97	-	
1990	1.246.825	15.874	98,8	2.642,42	379.734	3,28
2000	1.360.590	39.851	97,2	2.883,52	440.557	3,09
2010	1.409.351	0	100	2.986,86	508.546	2,77
2015	1.476.867	-	-	3.129,95	-	-

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: KNIJNIK; LOSS, 1994; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a.

4.1.1.5 Aspectos climáticos

O clima de Porto Alegre é subtropical úmido e apresenta as quatro estações do ano bem definidas. A temperatura média anual na cidade é de 19,5ºC (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, s.d.). A precipitação é uniforme distribuída ao longo do ano com pequena concentração no inverno e total superior à 1200mm (HASENACK, 1989). A precipitação característica é do tipo convectivo, intensa e de curta duração.

As temperaturas e teor de umidade elevada favorecem a ocorrência de ondas de calor ou como conhecidos “mormaços” com temperaturas máximas de 33ºC e duração por períodos de 3 a 4 dias (HASENACK 1989). De acordo com Hasenack (1989) estas características termo pluviométricas estão associadas às massas de ar atuantes na região: massa tropical marítima e a massa polar marítima.

[36] Considerando área de 471,85 km² (OBSSERVA POA, 2016a).

4.1.2 Dados sociais

Os dados sociais levantados nessa pesquisa versam sobre os principais indicadores que visam mensurar o desenvolvimento social da região e a infraestrutura da cidade.

4.1.2.1 Indicadores de desenvolvimento social

O principal índice para analisar o desenvolvimento social em um município é o: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)[37]. O IDHM de Porto Alegre em 2010 foi de 0,805 e no ano de 2000 foi de 0,744, portanto, melhorou 7,6% (OBERVA POA, 2016b). A figura 12 mostra o IDHM de Porto Alegre de cada uma das regiões que formam o município para o ano de 2010. Além de, mostrar a diferença entre o pior e o menor IDHM das regiões, neste caso, a melhor região possui um IDHM 1,47 vezes melhor que a região com pior IDHM.

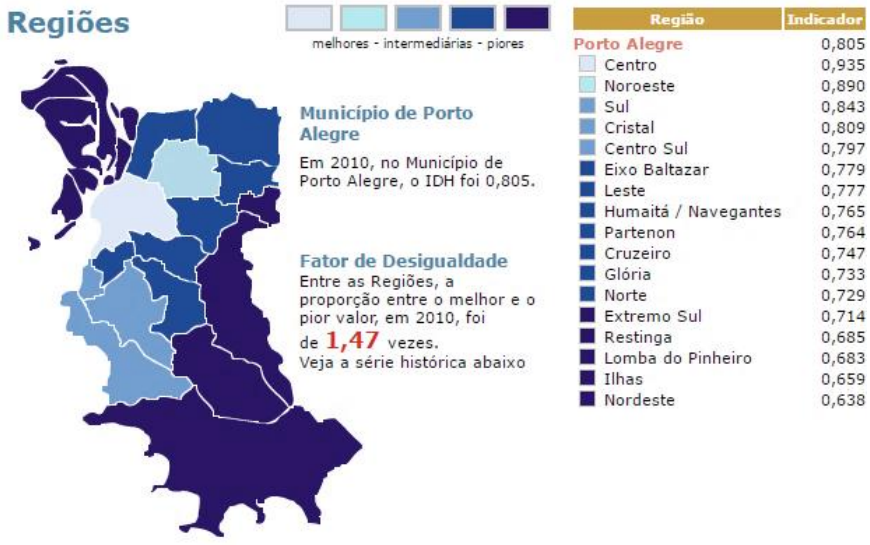


Figura 12 - IDHM de Porto Alegre e das regiões que formam o município no ano de 2010

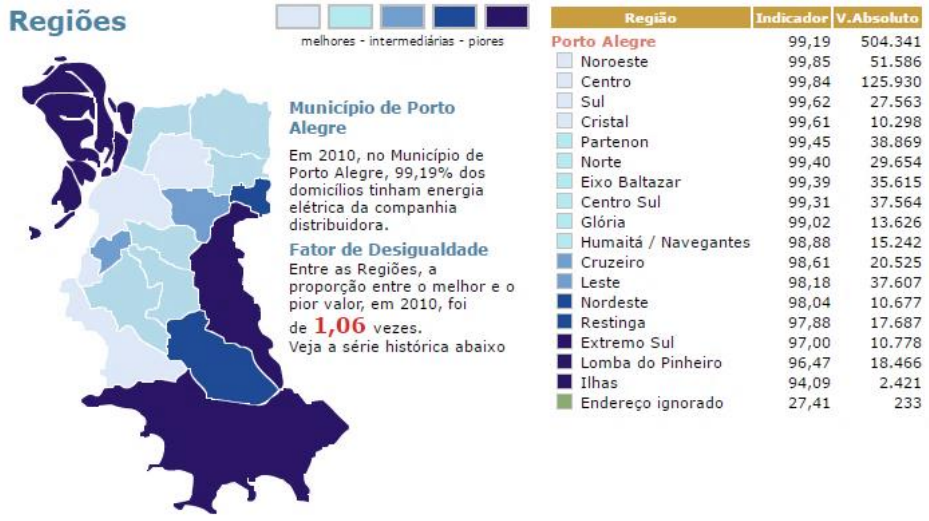
Fonte: Oberva Poa, 2016b.

[37] Ele é obtido a partir da média geométrica simples de três índices: longevidade, educação e renda. Em que o índice longevidade mensura o número médio de anos que uma pessoa nascida em determinado município viveria a partir do nascimento. Em seguida, o indicador educação é medido por meio da média de outros dois indicadores: pelo percentual da população adulta (acima de 18 nos) com ensino fundamental e pelo percentual de jovens (de 5 a 17 anos) que frequentam a escola. E, o indicador de renda é medido pela renda municipal per capita (OBERVA POA, 2016b).

O IDHM de Porto Alegre é considerado muito alto, está entre os sete melhores do Brasil, ficando empatado com o IDHM da cidade de São Paulo e, atrás, de cidades como Florianópolis e Curitiba (ATLAS DO DESENVOLVIMENTO DO BRASIL, 2010).

4.1.2.2 Infraestrutura do município

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016b) do total de domicílios de Porto Alegre: 99,9% destes possuem energia elétrica (figura 13); 99,2% possuem medidor de energia elétrica; 88,10% dos domicílios possui pavimentação no entorno; 99,35% possuem abastecimento de água adequado; 93,9% possuem coleta de esgoto sanitário adequado; e, 99,72% possui coleta do lixo adequado. Em relação ao esgoto, apenas, 39,57% recebe algum tipo de tratamento. Dos resíduos coletados em 2015, 93,55%, foram destinados para aterros sanitários. Em contrapartida o percentual de resíduos sólidos que é reciclado em relação ao total produzido na cidade por ano, ainda é muito baixo, aproximadamente, 6,45%, em 2015 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016b).



Região	Indicador	V.Absoluto
Porto Alegre	99,19	504.341
Noroeste	99,85	51.586
Centro	99,84	125.930
Sul	99,62	27.563
Cristal	99,61	10.298
Partenon	99,45	38.869
Norte	99,40	29.654
Eixo Baltazar	99,39	35.615
Centro Sul	99,31	37.564
Glória	99,02	13.626
Humaitá / Navegantes	98,88	15.242
Cruzeiro	98,61	20.525
Leste	98,18	37.607
Nordeste	98,04	10.677
Restinga	97,88	17.687
Extremo Sul	97,00	10.778
Lomba do Pinheiro	96,47	18.466
Ilhas	94,09	2.421
Endereço ignorado	27,41	233

Figura 13 - Percentual de domicílios com energia elétrica da companhia distribuidora sobre o total de domicílios

Fonte: Observa Poa, 2016c.

4.1.3 Dados econômicos

O PIB, a preços correntes de 2013 de Porto Alegre, foi de 57.379.337 mil reais e o PIB per capita forai de R$39.091,64 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016b). O gráfico 2 abaixo mostra a evolução do PIB municipal desde 1999 até 2013.

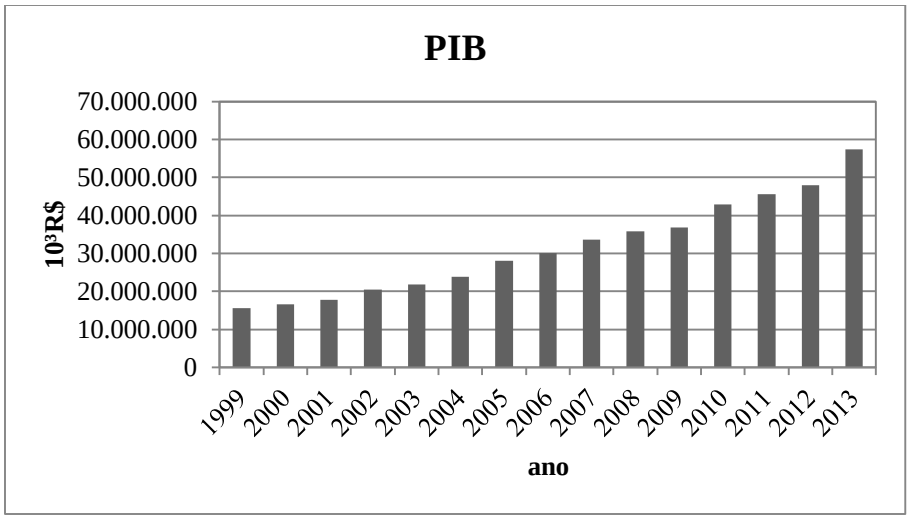


Gráfico 2 – Evolução do PIB de Porto Alegre desde 1999 até 2013

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSCA, 2016b).

Em seguida, o gráfico 3 mostra a evolução do PIB per capita entre os anos 2010 a 2013 em Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul e no Brasil. Entre os três, Porto Alegre, foi a que apresentou o maior PIB per capita, e também a única que apresentou um crescimento menor entre 2012 e 2013.

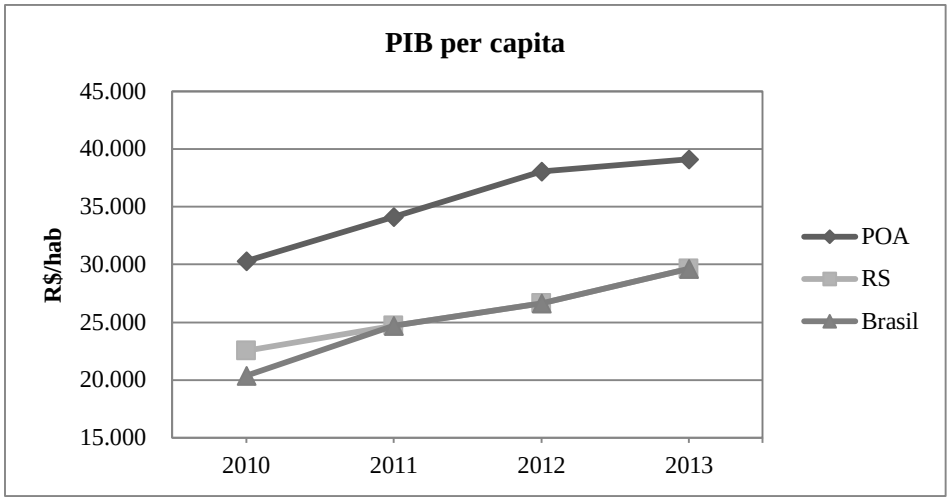


Gráfico 3 – Evolução do PIB per capita Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016c)

Outro indicador econômico importante é o Valor Adicionado Bruto[38] (VAB) municipal, pois tem a função de identificar o valor da riqueza gerada pelo município, e como essa riqueza foi distribuída entre os diversos setores que contribuíram, direta ou indiretamente para a sua geração. O VAB total de Porto Alegre para o ano de 2013 foi de R$ 48.651.075.464, sendo que desse total, 85,91% foi gerado pelo setor serviços, 14,05% pelo setor industrial e, o restante, menos de 0,05% foi gerado pelo setor agropecuário (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2015).

A partir de dados da Secretaria Municipal da Produção, Indústria e Comércio (SMIC) (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2013), verificou-se que os subsetores do setor serviços com maior número de empreendimentos cadastrados na PMPA são: comércio e administração de imóveis, valores mobiliários, serviços técnicos representando 30,2%, e o comércio varejista representando, 29,8%, do número total de estabelecimentos. A tabela 6 mostra os números totais de estabelecimentos formais do setor serviços cadastrados na prefeitura no ano de 2011.

[38] Valor adicionado bruto (VAB) é o resultado final da atividade produtiva no decurso de um período determinado. Resulta da diferença entre o valor da produção e o valor do consumo intermédio, originando excedentes (WIKIPEDIA, 2015b).

Tabela 6 - Estabelecimentos formais do setor comercial e de serviços cadastrados na PMPA em 2011

2011		
Subsetor de Atividade Econômica	nº de estabelecimentos	%
Com. e administração de imóveis, valores mobiliários, serv. técnico	37.419	30,2%
Comércio atacadista	9.291	7,5%
Comércio varejista	36.837	29,8%
Construção civil	5.492	4,4%
Ensino	2.162	1,7%
Instituições de crédito, seguros e capitalização	3.146	2,5%
Serv. de alojamento, alimentação, reparação, manutenção, redação	17.642	14,3%
Serviços industriais de utilidade pública	215	0,2%
Serviços médicos, odontológicos e veterinários	5.736	4,6%
Transportes e comunicações	5.838	4,7%
Total	123.778	100%

Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2013.

Além destes, a tabela 7 mostra o número de estabelecimentos formais do setor industrial cadastrados na prefeitura no ano de 2011.

Tabela 7 - Estabelecimentos formais do setor industrial cadastrados na PMPA em 2011

2011		
Subsetor de Atividade Econômica	nº de estabelecimentos	%
Extrativa mineral	62	0,7%
Indústria de produtos minerais não metálicos	157	1,7%
Indústria metalúrgica	912	9,8%
Indústria mecânica	528	5,7%
Indústria do material elétrico e de comunicações	253	2,7%
Indústria do material de transporte	132	1,4%
Indústria da madeira e do mobiliário	524	5,7%
Indústria do papel, papelão, editorial e gráfica	1843	19,9%
Ind. da borracha, fumo, couros, peles, similares, ind. diversas	1086	11,7%
Ind. química de produtos farmacêuticos, veterinários, perfumaria, ...	680	7,3%
Indústria têxtil do vestuário e artefatos de tecidos	1286	13,9%
Indústria de calçados	30	0,3%
Indústria de produtos alimentícios, bebidas e álcool etílico	1768	19,1%
Total	9261	100%

Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2013.

4.1.4 Aspectos regulatórios

A lei federal Lei nº. 10.257 (BRASIL, 2001), denominada Estatuto da Cidade, entrou em vigor em 10 de julho de 2001 para regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), estabelecer diretrizes gerais da política urbana e outras providências. Os planos diretores municipais, por sua vez, devem estar de acordo aos princípios e às diretrizes presentes no Estatuto da Cidade (ABREU, s/d). São os planos diretores das cidades que incorporam as diretrizes para o planejamento urbano, ou seja, tanto para regulamentar a propriedade privada quanto ao uso e ocupação do solo, transportes, saneamento e entre outras.

4.1.4.1 O plano diretor e a ocupação urbana do município de Porto Alegre

De acordo com o primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) elaborado em 1979, designou que 69,36% da área do município como urbana e 30,64% como zona rural (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2014). Em 1999, com a entrada em vigor da Lei Complementar nº 434, conhecida como Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA), foi extinta a zona rural e a cidade foi definida como 100% urbana, sendo que 61,90% ficou definida como área de ocupação intensiva e os demais 38,10%, como área de ocupação rarefeita (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2014).

Na última atualização do 1º PDDUA, Lei Complementar nº 646, de 2010, nada mudou em relação à ocupação urbana. Somente em setembro de 2015, com a aprovação da Lei Complementar do Executivo nº 007/14 voltou a ser definida a zona rural em Porto Alegre. A partir dessa alteração, a zona urbana ficou definida como 91,72% do território, sendo que 51,96% definida como área de ocupação intensiva e, 39,76% como área definida como ocupação rarefeita. Os demais, 8,28% do território do município ficou definido como zona rural, bem menor do que os 30,64% que vigoraram até 1979 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2014). A figura 14 apresenta o zoneamento de uso parcial do território para o 1º PDDUA de 1999 já com as alterações posteriores.

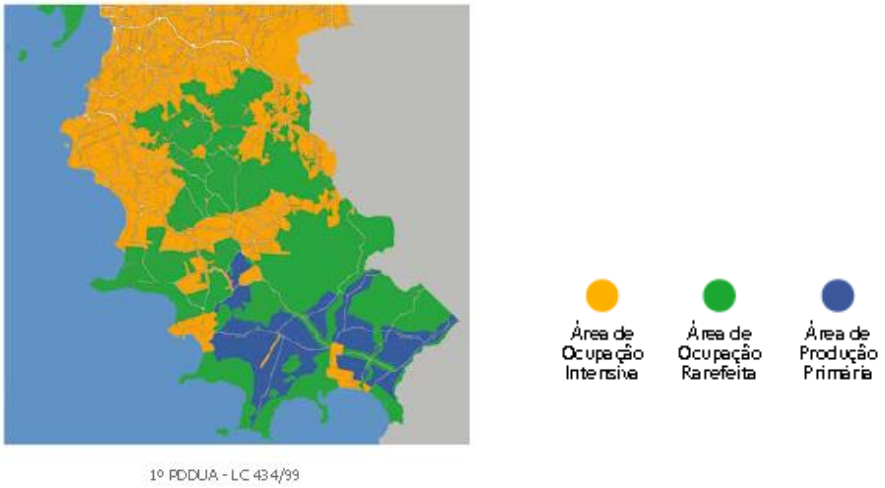


Figura 14 - Zoneamento de uso parcial do 1º PDDUA após alterações

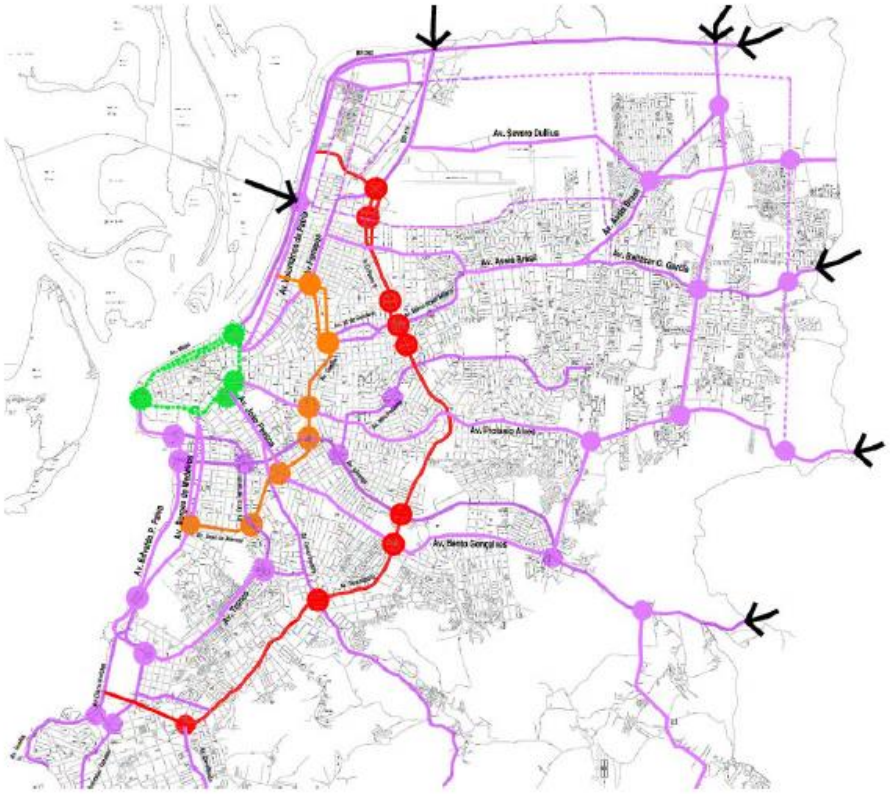
Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2014.

A recriação da zona rural permite a regularização dos produtores rurais para que os produtores possam obter linhas de crédito, além de, estimular o cultivo primário. Espera-se, também, frear a especulação imobiliária e a devastação ambiental.

4.1.4.2 PDDUA e o Plano de Mobilidade Urbana

Em consonância com as estratégias do PDDUA foi elaborado o Plano de Mobilidade Urbana de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2015). Este plano foi elaborado para cumprir a Lei Federal 12.587/2012 do Ministério das Cidades que determina que as cidades acima de 20.000 habitantes elaborem seus Planos de Mobilidade Urbana.

De acordo com este documento, grande parte da malha viária estruturadora de Porto Alegre tem origem nos principais caminhos existentes na cidade antiga. Mais precisamente, em 1937, um estudo desenvolvido para auxiliar a conexão social e econômica entre o centro principal e os aglomerados periféricos determinou a criação de um anel viário ao redor do centro para absorver parte das avenidas radiais, além de propor a criação de novas radiais, dois centros secundários (norte industrial e comercial e sul residencial) e novas ligações perimetrais. A partir de então, foi definida uma rede viária de radiais e perimetrais, configurando uma cidade radio-concêntrica. Os principais eixos radiais da cidade, surgidos historicamente, são atualmente as vias com maior fluxo de veículos e, consequentemente, com mais pontos críticos de fluidez e de segurança viárias, como mostra os pontos destacados na figura 15.



Nota: figura original não possui legenda, porém devido a relevância da figura ela foi mantida nesse trabalho.

Figura 15 – Fluxo de veículos, pontos críticos de fluidez e de segurança da cidade de Porto Alegre

Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2015, p. 71.

O diagnóstico da malha viária apontado no Plano de Mobilidade Urbana verificou a necessidade de compatibilização da rede viária gravada no PDDUA à rede intermodal necessária para atender às demandas da população e ao mesmo tempo garantir a qualidade do espaço urbano ao longo destes eixos. Pois, a malha viária básica da cidade em muitos trechos não comporta a rede intermodal necessária, ou seja, a malha viária não comporta as larguras previstas pelas faixas exclusivas dos ônibus e nem as faixas exclusivas para bicicletas previstas no Plano Diretor Cicloviário.

Em relação aos pedestres foi efetuado o seguinte diagnóstico (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2015, p. 73):

> Ainda com relação à qualificação do espaço urbano, principalmente do pedestre, grande parte dos passeios públicos das vias de Porto Alegre encontra-se em situação precária, não atendendo aos padrões de segurança, conforto e acessibilidade universal. Isto se deve em parte à legislação, que prevê que a execução e

> manutenção dos passeios públicos são de responsabilidade dos proprietários das áreas lindeiras à via, comprometendo a padronização necessária à qualificação deste espaço. Soma-se a isto a existência de obstáculos à livre circulação, devido à falta de compatibilização entre o projeto funcional da via e seus complementares, acarretando em interferências como postes em áreas de circulação, caixas de inspeção impedindo a implantação de rampas junto às travessias de pedestres e arborização afetando a visibilidade junto às interseções.

Por fim, o diagnóstico sugere como prioridade de investimentos na malha viária a definição da hierarquização viária de toda a malha viária estruturadora, em conjunto com os dados específicos de mobilidade (volume de veículos, acidentalidade, planejamento de transporte) e a definição de clara de prioridades na elaboração de estudos e projetos. Somente assim poderão ser evitados desperdícios de tempo e verba tanto na elaboração quanto na implementação de planos de ação. Tudo isso sem perder de vista a função principal que é a mobilidade (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2015).

4.1.4.3 PDDUA e o planejamento energético

Em relação ao planejamento energético, encontrou-se menção a este nos incisos: IV e V do Art. 18. Constituem a Estratégia de Qualificação Ambiental (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2014 p. 28):

> IV – Programa de Conservação de Energia, que propõe ações com vistas a garantir melhor qualidade de vida na cidade, com o mínimo de consumo energético e a menor agressão ao ambiente, envolvendo a elaboração do Plano de Gerenciamento de Energia;
>
> V – Programa de Gestão Ambiental, que propõe a elaboração do Plano de Gestão Ambiental, contendo diretrizes gerais de atuação consolidadas a partir dos planos setoriais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana, gerenciamento de resíduos sólidos e de energia e do plano de proteção ambiental, visando a estabelecer prioridades de atuação articuladas, qualificando soluções e reduzindo custos operacionais no âmbito das bacias hidrográficas.

Portanto, o Programa de Conservação de Energia e o Plano de Gerenciamento de Energia fazem parte das estratégias de qualificação ambiental pelo PDDUA. Porém, tais planos nunca foram elaborados. Somente no ano de 2014 e 2015 a CGPEM começou a reunir esforços para elaborar um Plano Energético Municipal. O único documento que essa comissão produziu foi um relatório descrevendo as atividades realizadas pela comissão e o consumo de eletricidade de cada secretaria.

4.1.4.4 Produção de energia distribuída

A geração distribuída até a década de 60 era proibida no Brasil e até metade da década de 90 era permitida somente a autoprodução sem conexão com a rede de distribuição (BRAUN-GRABOLLE, 2010). A mini e microgração de energia[39], ou simplesmente denominada de geração distribuída, foi regulamentada somente em 2012, a partir da resolução 482/2012 da ANEEL. Esta resolução normativa estabeleceu as condições gerais para o acesso da geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016a). Também, permitiu que a energia produzida fosse compensada, ou seja, debitada da energia consumida pelo consumidor. Caso haja eletricidade excedente, esta vira créditos e o consumidor pode utilizar para abater do seu consumo na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses.

Em 2015, a resolução 482/2012 foi revisada, visando aumentar o público alvo, melhorar as informações e reduzir os custos e o tempo para a conexão da geração, dando origem a resolução normativa nº 687/2015. Nessa revisão, há a possibilidade de o consumidor utilizar a eletricidade excedente ou os créditos em outras unidades dentro da mesma área de concessão, ou ainda, compartilhada entre múltiplos consumidores (condomínios).

Desde que a resolução 482/2012 foi aprovada, mais de 5,2 mil conexões de geração distribuída foram registradas com uma potência instalada de quase 30MW, sendo que 98% destas são de fonte solar fotovoltaica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016b). O Rio Grande do Sul já é o terceiro estado com maior número de conexões de geração distribuída, contando com 786 conexões e mais de 6 MW de potência instalados, segundo dados da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017). Destas conexões, 30 são do município de Porto Alegre, com um total de 199,06 kW de potência instalada, e uma média de 4,1 kW de potência por unidade consumidora e, todas as conexões são de fonte solar fotovoltaica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017). Este número é, no entanto, considerado muito baixo, já que somente na

[39] "Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes" (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016b p. 9).

cidade de Santa Cruz do Sul, no interior do estado do Rio Grande do Sul com um pouco mais de 100 mil habitantes, foram instalados 76 sistemas fotovoltaicos para produção de eletricidade com uma potência instalada de 599,31 kW (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

4.1.4.5 Eficiência energética

Desde 1985 existe o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobrás. Foi instituído para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. Nesse contexto, o PROCEL promove ações de eficiência energética em diversos segmentos da economia, que ajudam o país a economizar energia elétrica.

Contudo, somente em 2001, o Brasil instituiu a Lei de Eficiência Energética. A Lei de Eficiência Energética é o instrumento que determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como, de edificações construídas (PROCEL, 2014).

Além do PROCEL, que trata da eficiência da energia elétrica, há o Programa Nacional de Racionalização de uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET), que trata da eficiência dos combustíveis. O CONPET que promove ações para estimular o uso racional da energia, em parceria com organismos governamentais e não governamentais. Uma das ações é aumentar a eficiência do transporte público e desestimular o uso do automóvel, com soluções que promovam o uso mais eficiente dos energéticos e contribuam para a formação de uma cultura antidesperdício no país (BRASIL, 2012). Contudo, observa-se que os programas acima citados são aplicados de forma pontual e isolados. Pois, não há uma visão holística da eficiência energética. Por exemplo, analisar a eficiência energética dos eletrodomésticos desde a sua produção até o seu descarte ou, até mesmo, para os combustíveis usados nos automóveis.

4.2 Análise da demanda de energia do município de Porto Alegre: modelo BEM

Os resultados da aplicação do modelo de análise da demanda de energia estão divididos em duas etapas. A primeira apresenta as tabelas do BEM de Porto Alegre para 2014, em unidades originais e em 10^3 tep. Na segunda etapa foi realizada uma análise setorial a partir dos dados obtidos nos BEM de 2005 a 2014. As demais tabelas referentes aos balanços energéticos de Porto Alegre para o ano anos 2005 a 2013 estão no apêndice A deste trabalho.

4.2.2 BEM de Porto Alegre do ano 2014

Os dados de entrada para o BEM, referente ao uso da eletricidade e derivados do petróleo, foram fornecidos pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015); a Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (SULGÁS) (SULGÁS, 2016) forneceu os dados de consumo do gás natural (GN) e gás natural veicular (GNV); os dados de produção da lenha foram obtidos junto a Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul (FEE) (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

A tabela 8 apresenta o BEM de Porto Alegre em 2014 nas unidades originais, ou seja, nas unidades que os dados foram fornecidos pelos órgãos responsáveis.

Tabela 8 - Balanço energético municipal de Porto Alegre para o ano de 2014 em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2014												unidades originais
de Porto Alegre	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA		FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA									
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3	Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**23.680**	**29.479**	**171.526**	**2.238**	**399.005**	**123.434**	**187.748**	**3.816.350**	**132.517**	**20.375**	**9.028**
Consumo Final Não-Energético											
Consumo Final Energético	23.680	29.479	171.526	2.238	399.005	123.434	187.748	3.816.350	132.517	20.375	9.028
Setor Energético							55	6.459			
Residencial	10.700	29.479				89.694		1.372.737			
Comercial	10.700	1.866	2.029			28.460		1.691.550			107
Público			415	147		319		360.815			22
Agropecuário								2.892			
Transportes - Total	2.280		167.312	0	398.280	102	187.693	54.775	132.517	20.375	8.806
Rodoviário	2.280		164.766		397.550	101	8		132.517	20.375	8.672
Ferroviário								13.660			
Aéreo			86		730		187.685				5
Hidroviário			2.461			1					130
Industrial - Total			1.770	2.091	725	4.859		368.236			93
Cimento						28		135			
Ferro-gusa e Aço				550		11		237			
Ferroligas								3			
Mineração e Pelotização			442	271				961			23
Não-Ferrosos e Outros Metálicos						99		58.885			
Química				99		130		20.125			
Alimentos e Bebidas				1.098		1.871		77.421			
Têxtil								748			
Papel e Celulose								524			
Cerâmica								962			
Outros			1.328	73	725	2.719		208.235			70
Consumo Não-identificado											
Ajustes											

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

A tabela 9 mostra os mesmos dados da tabela anterior, porém transformados para uma única unidade de medida, a mil tep, dessa forma é possível somar os consumos energéticos e, consequentemente, analisar os resultados de forma satisfatória.

Tabela 9 - Balanço energético municipal de Porto Alegre para o ano de 2014 em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE												ano: 2014
USO FINAL												unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**20,8**	**24,4**	**145,5**	**2,1**	**312,4**	**75,7**	**154,3**	**328,2**	**88,0**	**36,0**	**1.142,2**	**1.166,6**
Consumo Final Não-Energético										36,0	**36,0**	**36,0**
Consumo Final Energético	**20,8**	**24,4**	**145,5**	**2,1**	**312,4**	**75,7**	**154,3**	**328,2**	**88,0**		**1.106,2**	**1.130,6**
Setor Energético								0,6			**0,6**	**0,6**
Residencial	9,4	**13,0**				55,0		118,1			**173,0**	**186,0**
Comercial	9,4	**9,6**	1,7			17,4		145,5	0,1		**164,7**	**174,4**
Público			0,4	0,1		0,2		31,0			**31,7**	**31,7**
Agropecuário								0,2			**0,2**	**0,2**
Transportes - Total	**2,0**	**2,0**	**141,9**		**311,9**	**0,1**	**154,3**	**1,2**	**87,8**		**697,1**	**699,1**
Rodoviário	2,0	**2,0**	139,7		311,3	0,1			87,7		**538,8**	**540,8**
Ferroviário								1,2			**1,2**	**1,2**
Aéreo			0,1		0,6		154,3				**154,9**	**154,9**
Hidroviário			2,1						0,1		**2,2**	**2,2**
Industrial - Total			**1,5**	**2,0**	**0,6**	**3,0**		**31,7**	**0,1**		**38,8**	**38,8**
Cimento												
Ferro-gusa e Aço				0,5							**0,5**	**0,5**
Ferroligas												
Mineração e Pelotização			0,4	0,3				0,1			**0,7**	**0,7**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos						0,1		5,1			**5,1**	**5,1**
Química				0,1		0,1		1,7			**1,9**	**1,9**
Alimentos e Bebidas				1,1		1,1		6,7			**8,9**	**8,9**
Têxtil								0,1				
Papel e Celulose												
Cerâmica								0,1				
Outros			1,1	0,1	0,6	1,7		17,9	0,1		**21,4**	**21,4**
Consumo Não-identificado												
Ajustes	0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016).

Conforme mostra o BEM de Porto Alegre no ano de 2014, tabela 9, o consumo final de energia (consumo final de energia primária somada ao consumo final de energia secundária) de Porto Alegre foi de 1.166,6 mil toneladas equivalente de petróleo. Esse total representa 8,7% do consumo final de energia do estado do Rio Grande do Sul e, 0,44% do consumo final de energia do Brasil.

Os maiores consumidores são: o setor transporte (60%), o setor residencial (16%) e o setor comercial (15%). Juntos estes setores consomem 91% de toda a energia da cidade. Em relação aos recursos energéticos, os mais consumidos foram: a eletricidade (28,1%); a gasolina (26,8%); o querosene (13,8%); e, o óleo diesel (12,5%). Estas fontes de energia secundária combinadas representam 80,6% do uso final da energia.

4.2.3 Perfil energético

Além do BEM de Porto Alegre de 2014 foram realizados os balanços dos anos 2005 a 2013 (Apêndice A), a fim de observar a evolução do consumo de energia no município. As tabelas dos balanços estão dispostas no apêndice A desta dissertação. O gráfico 4 ilustra a evolução do consumo de energia na cidade de Porto Alegre, desde 2005 até 2014. A partir destes dados foi possível observar a evolução do consumo de energia no município, no qual, ficou constatado que o uso final da energia aumentou 32,4%. Sendo que os recursos energéticos que mais aumentaram o consumo, entre os anos 2005 e 2014, foram: o querosene (79,5%); a gasolina (46,6%); e, a eletricidade (22,2%).

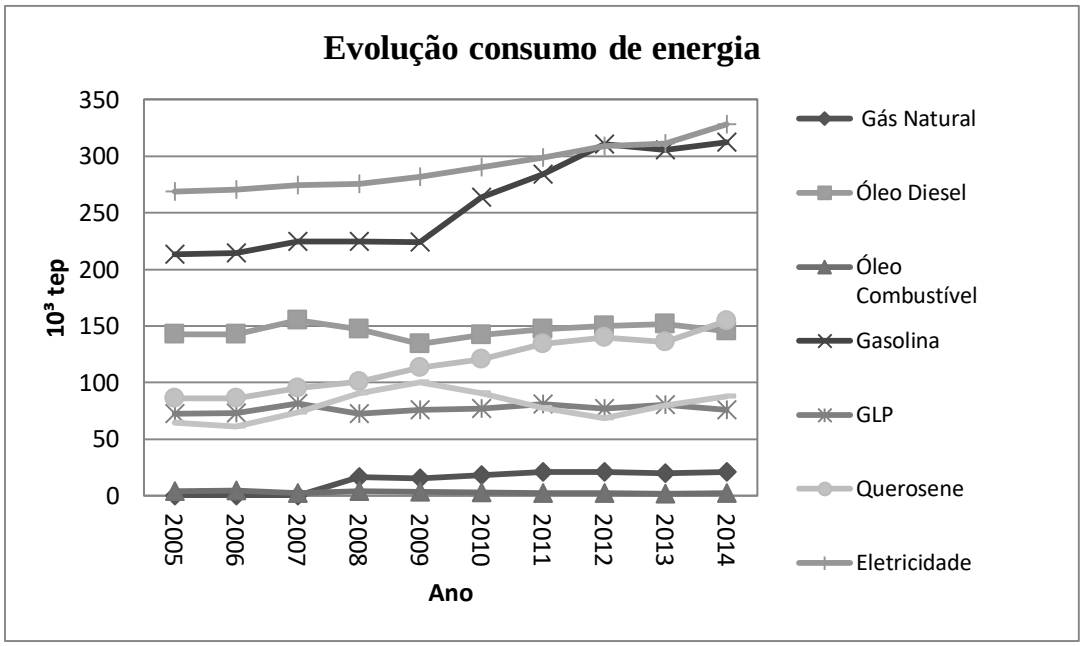


Gráfico 4 - Evolução do consumo de energia por fonte do município de Porto Alegre desde 2005 até 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Em seguida, o gráfico 5 mostra o consumo de energia per capita em Porto Alegre, no período estudado, de 2005 a 2014.

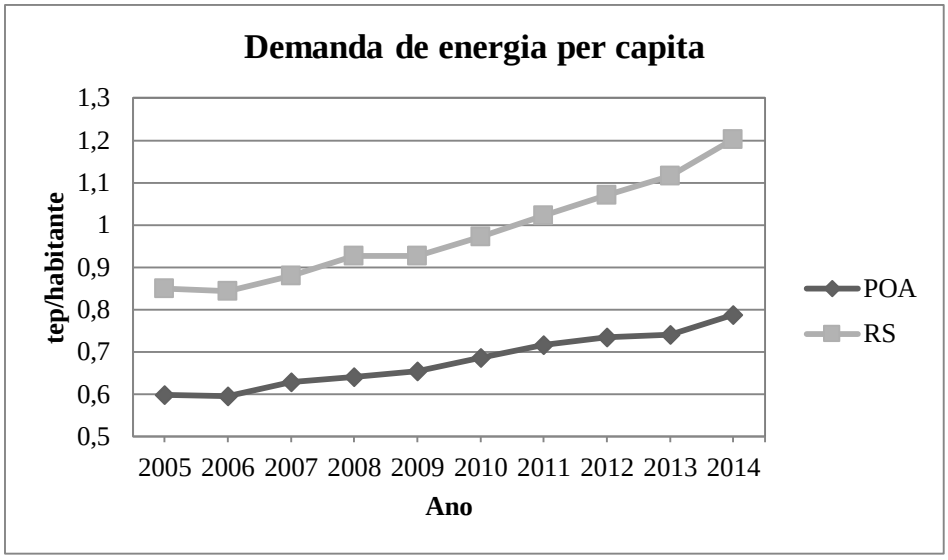


Gráfico 5 - Evolução do consumo de energia per capita do município de Porto Alegre e no estado do Rio Grande do Sul desde 2005 até 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016.

O gráfico 5 mostra que o consumo de energia per capita em Porto Alegre, em 2014, foi de 0,79 tep/habitante e evoluiu de forma ascendente nos últimos anos, 31,8%, em 10 anos, ou ainda, em média 3,2% ao ano. No estado do Rio Grande do Sul o consumo per capita foi superior, 1,2 tep/habitante, e aumentou 41,6% no mesmo período. Então, em 2014, o consumo de energia per capita do RS foi 30,8% maior do que de Porto Alegre.

Por outro lado, o consumo de eletricidade per capita de Porto Alegre de 2,58MWh, em 2014, foi 322% superior ao do estado do Rio Grande do Sul, 0,8MWh per capita. Contudo, é equivalente ao consumo de eletricidade per capita do Brasil de 2,58 MWh. A figura 16 mostra o consumo de eletricidade per capita do mundo, mostrando que o consumo de eletricidade per capita de Porto Alegre é superior ao de muitos países do mundo, como: México (2,17 MWh per capita); Paraguai (1,56 MWh per capita); e Equador (1,38 MWh per capita) (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2016).

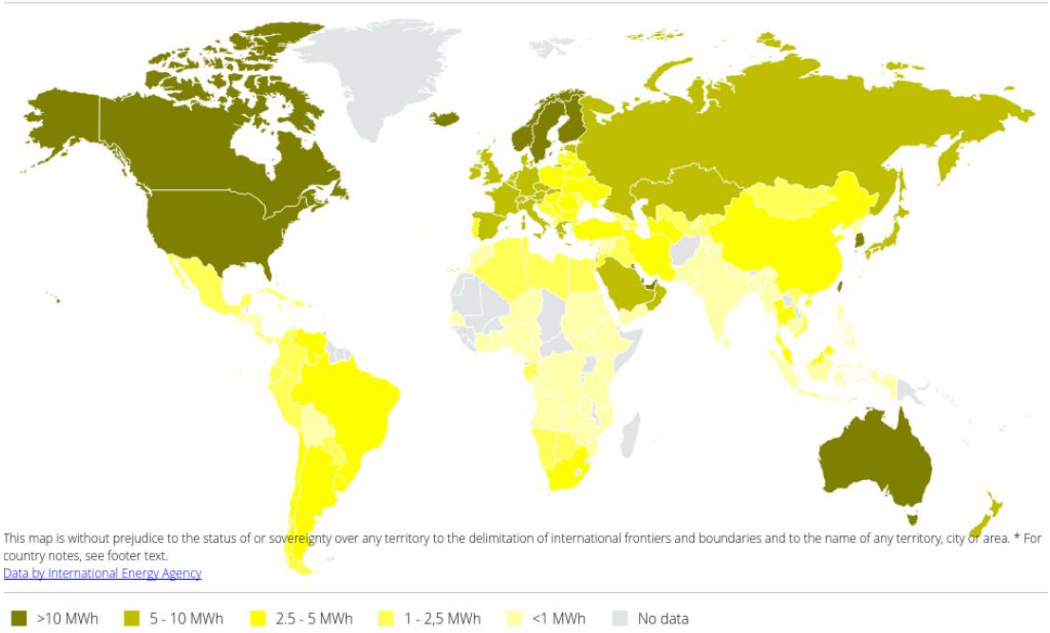


Figura 16 - Consumo de eletricidade per capita no mundo, em 2014

Fonte: International Energy Agency, 2016.

Em seguida, o gráfico 6 compara os dados de uso final do BEM com o PIB de Porto Alegre, a partir deste é possível verificar que ambos crescem gradativamente, porém o PIB variou 204% ou a uma taxa média anual de 22,7% e a demanda de energia variou 32,4% ou a uma taxa média anual de 3,24%.

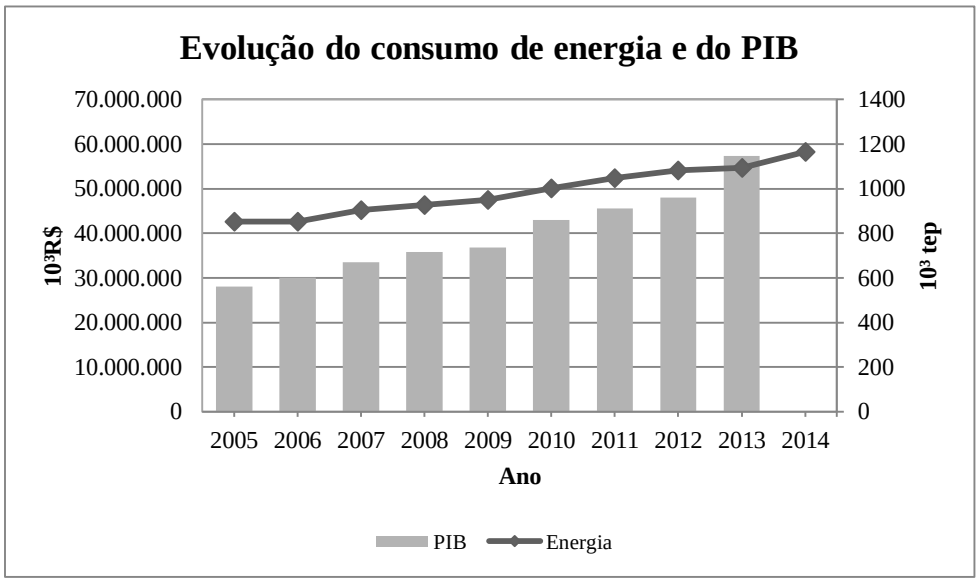


Gráfico 6 - Evolução do consumo de energia e do PIB do município Porto Alegre no período de 2005 até 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2015)

A partir destes dados também foi possível averiguar a intensidade energética[40] de Porto Alegre e ainda comparar com a do estado do Rio Grande do Sul e do Brasil. Este indicador mensura a eficiência do consumo energético por unidade de produto interno bruto de uma economia. É um indicador muito utilizado, pois está intimamente relacionado com o conceito de eficiência econômica. Importante ressaltar que no início do processo de industrialização se tratava de uma simples equação de quanto maior o consumo de energia maior o PIB do país (ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS LIBERO-AMERICANOS, s.d.).

Porém, esta relação, nos últimos anos, se tornou muito mais complexa, pois de um lado pode ocorrer de o PIB continuar a crescer e por outro lado o consumo de energia reduzir e a intensidade energética permanecer estável ou até mesmo reduzir. Tal fato, no entanto, não significa que haja perda da riqueza interna ou que o nível de industrialização esteja regredindo, mas sim pode demonstrar o esforço dos países para reduzir o seu consumo interno de energia através da eficientização dos seus processos industriais (ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS LIBERO-AMERICANOS, s.d.). Em seguida, o gráfico 7 apresenta a evolução deste indicador desde 2005 até 2013.

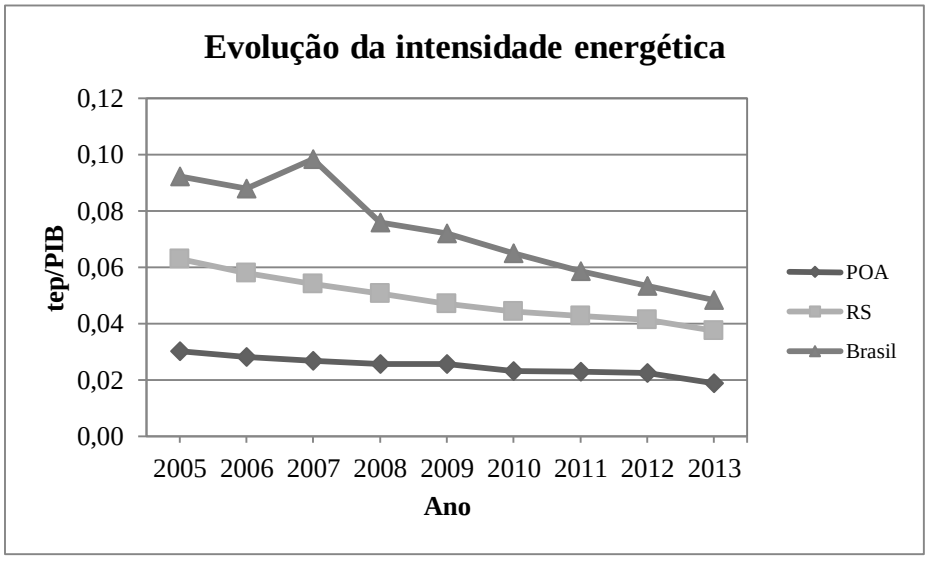


Gráfico 7 - Evolução da intensidade energética no Brasil, no estado do Rio Grande do Sul e em Porto Alegre, entre os anos 2005 e 2013

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, s.d.; CAPELETTO; MOURA, 2015; BRASIL, 2015a).

[40] Intensidade Energética (tep/EUR, tep/US$, tep/R$) é um indicador energético que relaciona o consumo de energia total de uma região e o produto interno bruto da mesma num espaço temporal de um ano.

Estes dados estão indicando que a intensidade energética tanto de Porto Alegre quanto do estado do Rio Grande do Sul e do Brasil vem decrescendo gradativamente ao longo do período estudado, mais especificamente, um decrescimento médio anual de 7,0%, 6,6% e 5,8% respectivamente.

A redução da intensidade energética no Brasil pode ser explicada pela perda da participação da indústria no crescimento do consumo interno verificada no último biênio (PEDROSO, 2013). Nesse período, a expansão da economia foi se deslocando mais para setor de serviços e como normalmente se usa mais energia em atividade industrial do que em serviços, menos energia é consumida (PEDROSO, 2013). Esta característica, também, é observada no resto do mundo. Conforme o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007 p. 69): "A relação energia/PIB diminui em todo o planeta, devido a queda da participação de setores industriais energo-intensivos na economia global". Em Porto Alegre, se observa um processo semelhante, uma vez que a participação do setor industrial vem decaindo nas últimas décadas. No próximo subitem o consumo de energia no setor industrial será analisado com mais detalhes.

4.2.3 Análise setorial

Nesta segunda etapa do balanço energético os dados de consumo de energia serão analisados por setor econômico da cidade. O gráfico 8 ilustra a evolução do consumo de energia dos principais setores do município de Porto Alegre, desde 2005 até 2014.

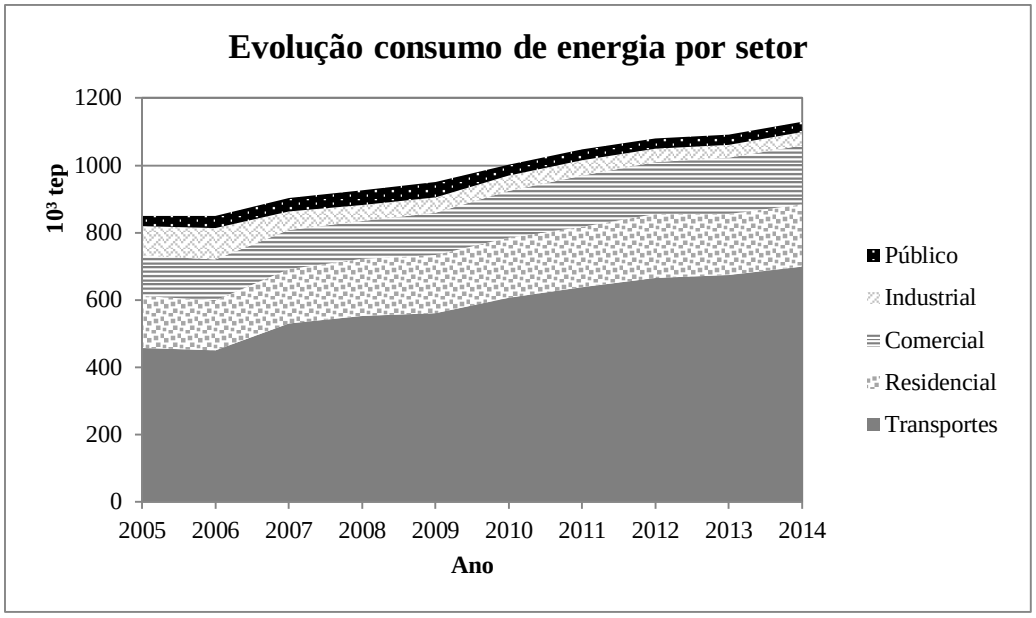


Gráfico 8 - Evolução do consumo de energia por setor dos anos 2005 à 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Os consumos de energia dos setores da economia de Porto Alegre estudados variaram de forma irregular. Os setores que mais acentuaram o consumo de energia, entre 2005 e 2014, foi o setor transporte, 52,9%, o setor comercial que aumentou em 46,9% da sua demanda de energia e, por fim, o setor residencial com um acréscimo de 19,9%. Os demais setores apresentaram um decrescimento na demanda de energia no mesmo período. A demanda de energia no setor industrial reduziu 44,4%, enquanto, no setor público houve uma redução de apenas 1,5%. Salientando que os setores energético e agropecuário apresentaram uma demanda de energia bem abaixo dos demais setores, consequentemente, não se destacaram no gráfico acima. Contudo, também apresentaram uma redução na sua demanda de energia, o setor energético recuou 9,8% e o setor agropecuário reduziu 57,7%, entre os anos 2005 e 2014. Em seguida, cada setor será analisado em detalhes separadamente.

4.2.3.1 Setor transporte

O primeiramente é importante ressaltar que os dados de consumo de combustíveis obtidos neste trabalho provêm dos dados mensurados e divulgados pela ANP que foi repassado para a elaboração desse trabalho pela CEEE (2015). A metodologia da ANP para contabiliza o combustível comprado ou consumido nos postos de distribuição de combustível do município,

comumente conhecidos como postos de gasolina. Portanto, não há distinção se o veículo que abasteceu em Porto Alegre irá consumir aquele combustível no mesmo local ou em outra cidade. O oposto também não é contabilizado, neste caso, o combustível que foi comercializado em outra cidade e consumido em Porto Alegre.

O setor transporte foi o setor que demandou mais energia. Somente ele consumiu 60% da energia final da cidade de Porto Alegre, no ano de 2014. Desde 2005 até 2014 a demanda de energia deste setor aumentou 52,9%, em outras palavras, a demanda aumentou 13 vezes mais que o aumento populacional de Porto Alegre. Importante observar que o setor transporte assim como o setor residencial está diretamente relacionado com o consumo final das famílias. Também, está correlacionado com o movimento do setor serviços, industrial e agropecuário. Dessa forma, a demanda de energia desse setor está fortemente vinculada com a expansão do setor serviços no município e com o aumento do consumo das famílias.

Em relação às fontes de energia o gráfico 9 mostra a evolução do consumo de energia por fonte deste setor, desde 2005 até 2014.

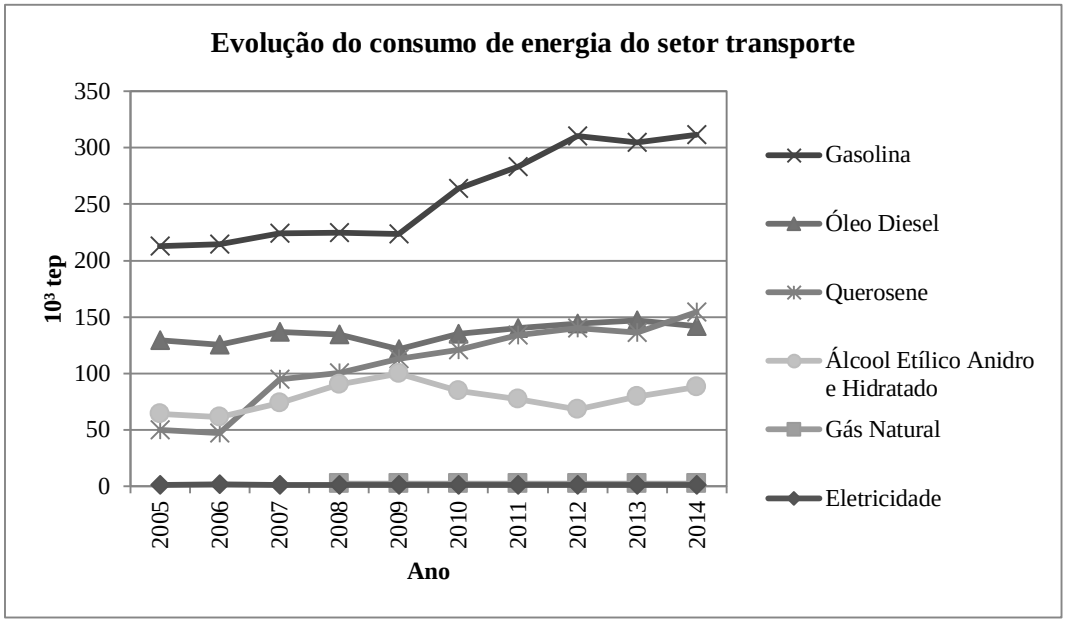


Gráfico 9 - Consumo de energia por fonte do setor transporte desde 2005 à 2014

Fonte: Elaboração própria

Os subsetores do setor transporte que mais consumiram energia em 2014 foram o rodoviário e o aéreo, 77,4% e 22,2%, respectivamente, ou seja, ambos consumiram 99,6% do consumo final do setor transporte e são responsáveis por 59,6% do consumo total de energia da cidade. Devido à relevância destes dois subsetores, eles serão analisados separadamente logo abaixo.

i) Transporte rodoviário

Analisando o subsetor rodoviário mais de perto, verificou-se que a frota de veículos em circulação, em 2014, era composta principalmente por carros, como mostra o gráfico 10. A frota de ônibus para transporte público era de 1697 veículos e a idade da frota era de 5,15 anos, para o mesmo ano (OBSSERVA POA, 2016a). O percentual de quilômetros de ciclovias permanentes, em relação ao total de extensão em quilômetros de vias da cidade era de 0,88% (OBSSERVA POA, 2016a).

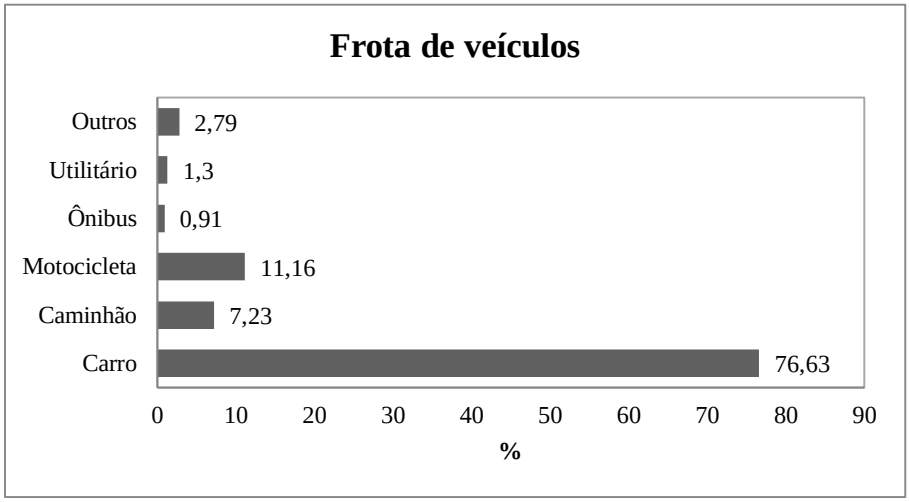


Gráfico 10 - Frota de veículos do município de Porto Alegre em 2014

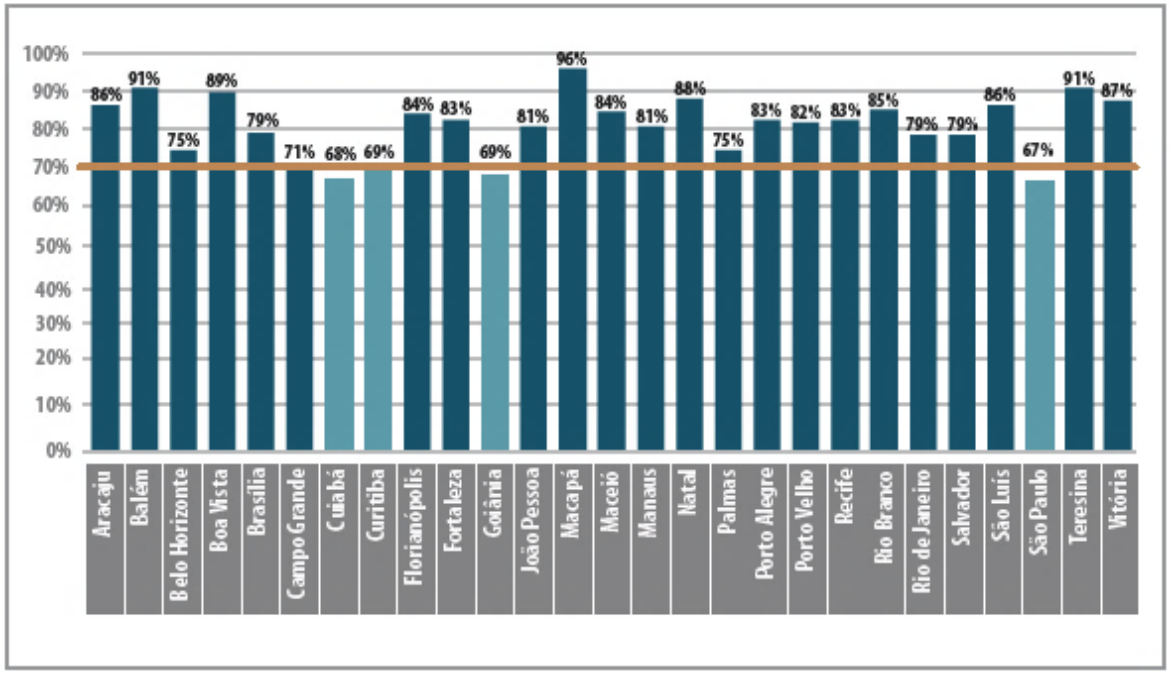
Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (OBSSERVA POA, 2016a).

A frota, por sua vez, pode ser desagregada pelos tipos de combustíveis utilizados nos veículos e pelo tipo de uso. Em 2014, os tipos de combustíveis mais comuns entre os veículos da frota de Porto Alegre foram: gasolina (50,5%); flex (gasolina e/ou álcool) (38,1%); óleo diesel (6,0%); álcool (2,9%); outros (2,6%). No mesmo ano, os tipos de uso da frota foram designados para transporte de passageiros (80,4%), transporte de carga (8,8%) e outros[41] (9,0%).

Apesar de mais da metade da frota de veículos ser flex, o consumo de etanol hidratado em Porto Alegre é pouco significativo. Conforme relatório de preços da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015) o preço do etanol hidratado é fator decisivo na decisão do consumidor. A figura 17 mostra a relação entre os preços médios de revenda do etanol hidratado e de gasolina comum, por capitais, em 2014. Os percentuais expostos na figura 17 mostram que, ao longo de 2014, houve vantagem econômica na aquisição do etanol

[41] Designa veículos destinados à coleção, tração, competição e de uso misto.

hidratado em detrimento da gasolina comum somente em quatro capitais. Os principais fatores para a maior vantagem econômica no uso do etanol hidratado são devidos: aos períodos de safra e de entressafra da cana-de-açúcar, à proximidade dos centros produtores (o que reduz o valor do frete), às diferentes alíquotas de ICMS[42] incidentes sobre os combustíveis e à presença de grandes economias de escala na comercialização do produto (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015).



Nota: As barras abaixo da linha indicam as capitais onde a relação entre os preços médios de revenda de etanol hidratado e de gasolina comum foi inferior a 70%.

Figura 17 - Relação entre os preços médios de revenda de etanol hidratado e de gasolina comum, por capitais, em 2014

Fonte: (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015).

Dessa forma, considerando que a alíquota de ICMS sobre o etanol hidratado no estado do Rio Grande do Sul é de 25%, sendo que em São Paulo é de 12%, que a demanda deste combustível no estado é baixa, em relação aos outros estados, como São Paulo, Paraná e Mato Grosso e, ainda que, há parcos incentivos à produção de etanol no estado, se tem um quadro de desincentivo ao uso do etanol hidratado no estado do Rio Grande do Sul (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015).

[42] O ICMS é o imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação, de competência dos Estados e do Distrito Federal.

Retomando sobre a frota de veículos, verificou-se a partir dos dados levantados que o número de veículos na cidade cresceu 50%, proporcionalmente, o consumo no setor de transporte aumentou 52,9% e o consumo de gasolina aumentou 46,4%, no período de 2005 a 2014. Em outras palavras tanto a frota quanto o consumo de gasolina cresceram aproximadamente 12 vezes mais que a população no mesmo período estudado. E, ainda que a relação entre o número de habitantes e a frota é de um veículo para 1,8 habitantes, como apresenta o gráfico 11. Em outras capitais brasileiras este indicador é igualmente elevado, por exemplo: em São Paulo são 2,11 hab/veículo, em Curitiba são 1,66 hab/veículo e a média brasileira é de 3,82 hab/veículo. Esse indicador também pode ser comparado aos de países desenvolvidos como Japão, França, Espanha e Alemanha, todos com aproximadamente 1,7 habitante por veículo (FRAGA, 2014). Se não for levado em consideração os habitantes que têm menos que 18 anos e os que tem acima de 80 anos que não poderiam dirigir, a proporção diminuiria ainda mais, podendo chegar a números próximos de 1,2 pessoa por veículo (FRAGA, 2014).

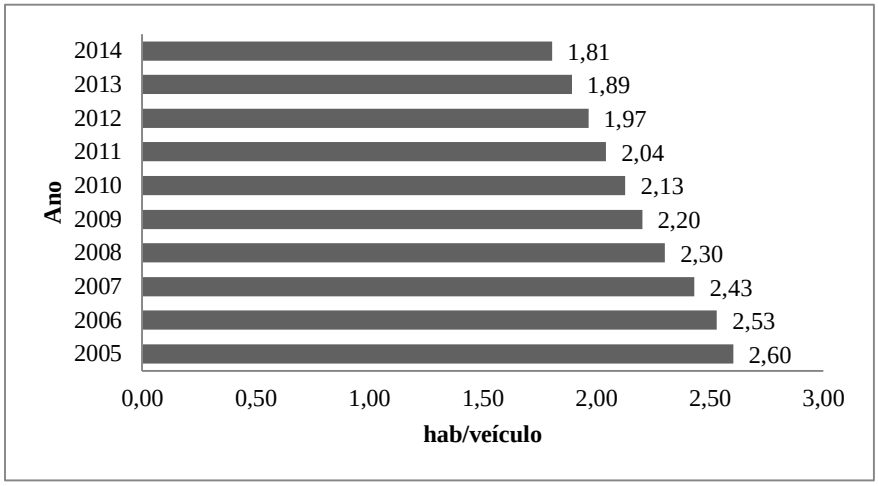


Gráfico 11 - Relação do número de habitantes pelo número de veículos registrados

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSCA, 2016a).

Conforme observado por Fraga (2014), o salto na quantidade de automóveis rodando em Porto Alegre pode ser explicado pelo desempenho da economia brasileira. A melhora na renda per capita, a redução nas taxas de juros e a facilidade na hora de parcelar a compra motivaram a ascensão das classes C e D. Uma das consequências desse crescimento para a capital é que esta possui o sétimo pior transito do país (em relação à densidade dos congestionamentos) segundo estudo realizado pela TomTom (RIBEIRO, 2014). Além disso, "[...] Porto Alegre emitiu um total de 2.829.128 ton CO_2. Dessas emissões, 1.882.103 ton CO_2 (68%) foram de responsabilidade do setor de Transporte" (BENITES, 2016 p. 1). As emissões

totais do município são equivalentes às emissões provenientes do desmatamento de uma área de 180 mil campos de futebol (BENITES, 2016).

ii) Transporte aéreo

O energético consumido pelo transporte aéreo é o querosene de aviação (QAV), de acordo com o gráfico 12, o consumo deste energético cresceu 311%. Sendo que, somente entre os anos 2006 e 2007, o consumo de QAV aumentou 200%. Nos últimos anos, o volume de passageiros que voaram em companhias nacionais deu um salto de 246%, passando de 22,8 milhões em 1998 para 56,2 milhões em 2008, conforme Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (BRASIL, 2009). Ainda, segundo a ANAC, grande parte deste crescimento foi impulsionado pela liberdade tarifária ampliando a concorrência e favorecendo a queda de preços nas passagens aéreas (BRASIL, 2009).

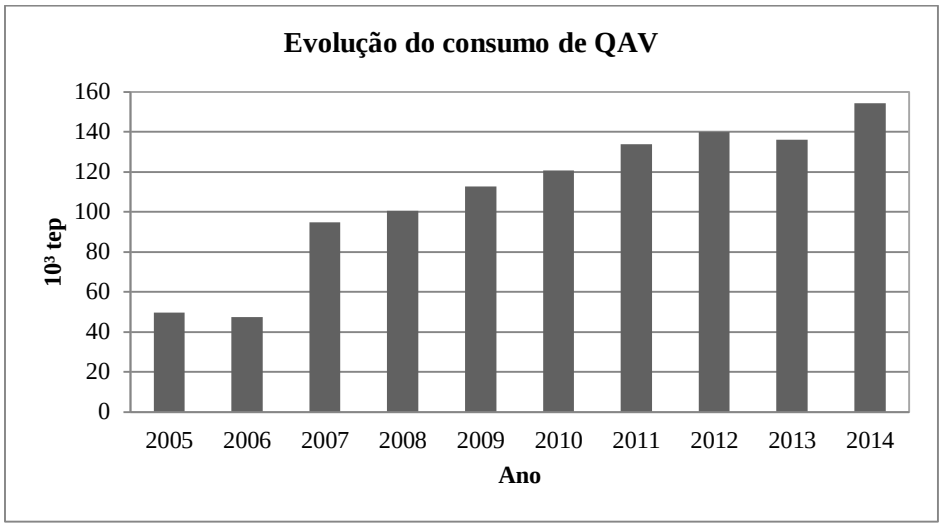


Gráfico 12 - Evolução do consumo de QAV no período de 2005 a 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016.

A partir de dados da Infraero (BRASIL, 2011b, 2015d), empresa pública que administra o Aeroporto Internacional de Porto Alegre - Salgado Filho, foi possível agregar os dados do movimento anual de aeronaves (pousos e decolagens), passageiros (embarques e desembarques) e de carga e correios (carregada e descarregada) para o período de 2006 até 2014, como mostra o gráfico 13.

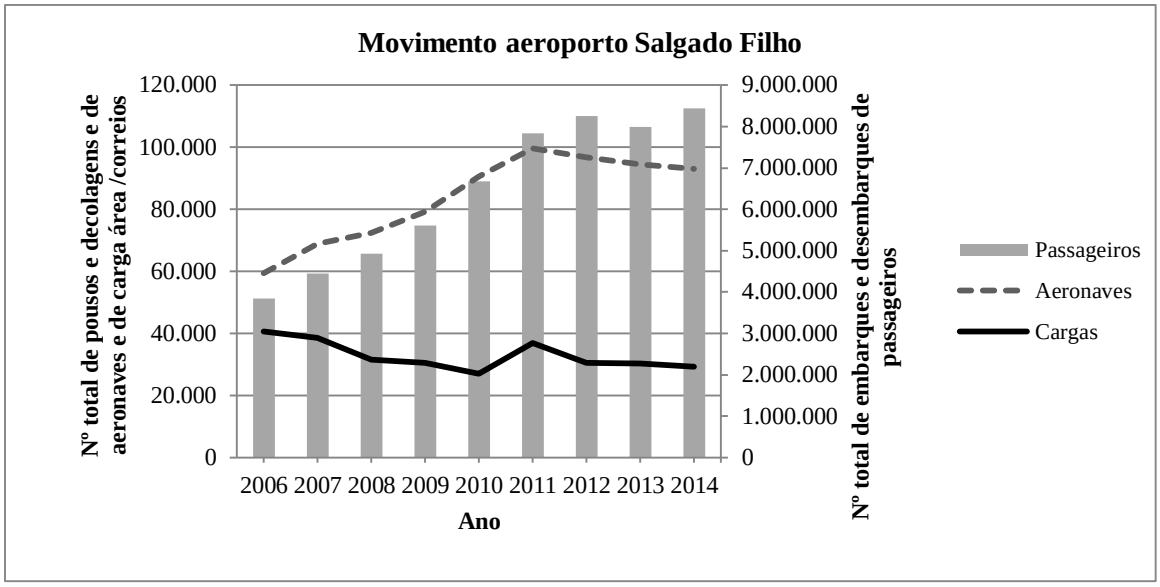


Gráfico 13 - Movimento anual das aeronaves, passageiros e cargas aéreas e correios no aeroporto Salgado Filho no período de 2006 a 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (BRASIL, 2011b ; BRASIL, 2015d).

Nesse período, o número do movimento anual das aeronaves cresceu 56,3%, ou a uma taxa média anual de 6,25%. Ao mesmo tempo, o movimento anual de passageiros aumentou 219% ou a uma taxa média anual de 24,3%. Em 2014, foram mais de 8 milhões de embarques e desembarques registrados. De acordo com o anuário da Infraero (BRASIL, 2015d), o Aeroporto de Porto Alegre possui o 4º maior fluxo de passageiros do Brasil, ficando atrás dos aeroportos de Congonhas, Santos Dumont e Salvador e à frente do aeroporto de Curitiba. Juntos, esses 5 aeroportos representaram 47% do movimento total da rede Infraero e tiveram o crescimento no ano de 2014 (BRASIL, 2015d). Por outro lado, o movimento anual de carga aérea e correios reduziram 28,2%, no mesmo período.

Em seguida, o gráfico 14 apresenta a relação do consumo de QAV pelo número total de pousos e decolagens de aeronaves no aeroporto entre os anos 2006 a 2014.

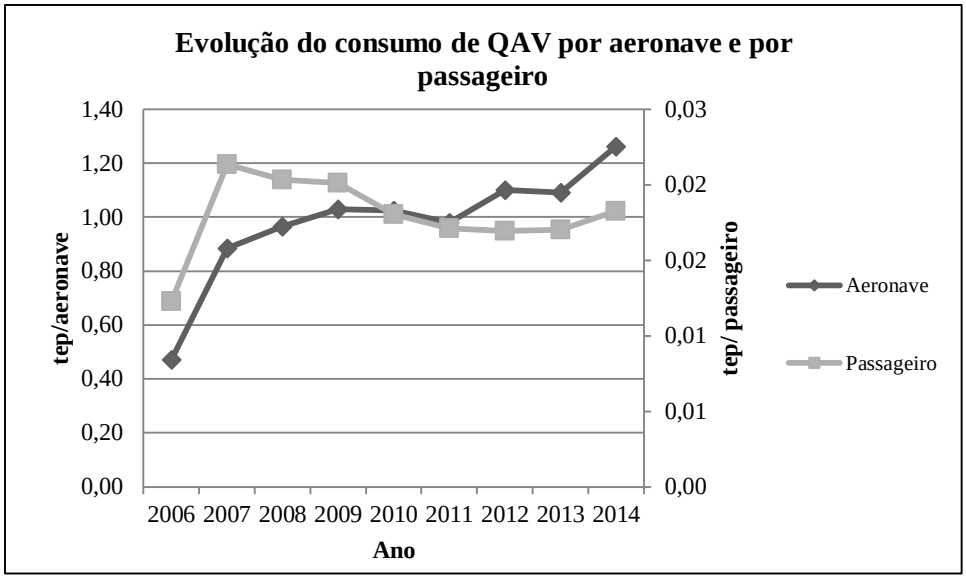


Gráfico 14 - Consumo de QAV pelo número de aeronaves que pousaram e decolaram e pelo número de passageiros que embarcaram e desembarcaram no Aeroporto Internacional Salgado Filho, nos anos 2006 a 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados : (BRASIL, 2011b ; BRASIL, 2015d).

De acordo com estes dados, desde 2006 até 2014 o consumo de combustível por aeronave aumentou aproximadamente 268%. E, por outro lado, o consumo de QAV pelo número de passageiros expandiu 48,7%, ao longo de todo o período aqui levantado, e 73,9%, somente entre os anos 2006 e 2007. Desde então, este indicador vem decaindo. Pode-se inferir a partir destes dados que há uma diminuição na eficiência do uso da energia neste subsetor. Já que, a demanda de energia continua a aumentar apesar do número de pousos e decolagens terem reduzido, nos últimos 3 anos estudados.

A eficiência energética na aviação pode variar com o aumento dos voos regionais, pois, por um lado voos regionais são mais curtos e realizados com aeronaves menores, por outro lado, com menor fator de ocupação, ambos pioram a eficiência energética (BRASIL, 2014b). Além disso, problemas de gerenciamento do espaço aéreo e dos aeroportos também reduzem o ganho de eficiência energética na aviação. Por exemplo, aguardar para pousar e decolar consome combustível, mas não gera o serviço energético principal, o deslocamento (BRASIL, 2014b). Analisando o gráfico 14, é possível observar que a demanda de energia pelo número de passageiros reduziu, a partir de 2009. Nota-se, consequentemente, uma melhor gestão do fator de ocupação. Dessa forma, se sabe que a redução na eficiência energia não foi causada

por má gestão da ocupação. Portanto, cabe analisar mais detalhadamente o porque do aumento da ineficiência deste setor.

4.2.3.2 Setor residencial

O setor residencial foi o segundo setor econômico do município de Porto Alegre que mais consumiu energia, 15,9%, do consumo total de energia, em 2014. Neste setor é contabilizado tanto o consumo de energia das residências urbanas quanto rurais. O crescimento do seu consumo vem sendo ascendente e gradual na maior parte dos anos analisados, numa taxa média anual de 2%, no período de 2005 até o ano de 2014. O gráfico 8 apresentado anteriormente mostra o crescimento do consumo de energia no setor residencial.

As fontes de energia consumidas neste setor, no ano de 2014, foram: eletricidade (63,46%), GLP (29,56%), gás natural (5,06%) e lenha (1,92%). A demanda de energia por domicílio em 2014 foi de 0,35 tep/ domicílio. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2014b) o setor residencial consome energia prioritariamente para suprir as necessidades de cocção, refrigeração, climatização, aquecimento de água e entretenimento.

O maior recurso energético consumido neste setor é a eletricidade, segundo (BRASIL, 2014b), em 2012, a eletricidade em média foi usada da seguinte forma nos lares brasileiros: aparelhos eletrodomésticos e outros equipamentos (73,9%); aquecimento de água (18%); iluminação (16,2%); e, climatização de ambientes (8,0%).

Em Porto Alegre, o consumo de eletricidade neste setor aumentou 19,9%, entre os anos 2005 a 2014. No mesmo período, o número de domicílios aumentou 14,0% e o número de pessoas por domicílio reduziu 10,1% (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSCA, 2016a). Portanto, é possível afirmar que o consumo de eletricidade por pessoa aumentou, uma vez que, há cada vez menos pessoas morando por domicílio e o consumo de energia por domicílio continua a aumentar. O gráfico 15 mostra a evolução da demanda de eletricidade do setor e a demanda por número de domicílios que possuem energia elétrica. A partir desses dados observa-se que, em 2014, cada residência em Porto Alegre consumiu em média 2.704kWh por ano ou 225kWh por mês.

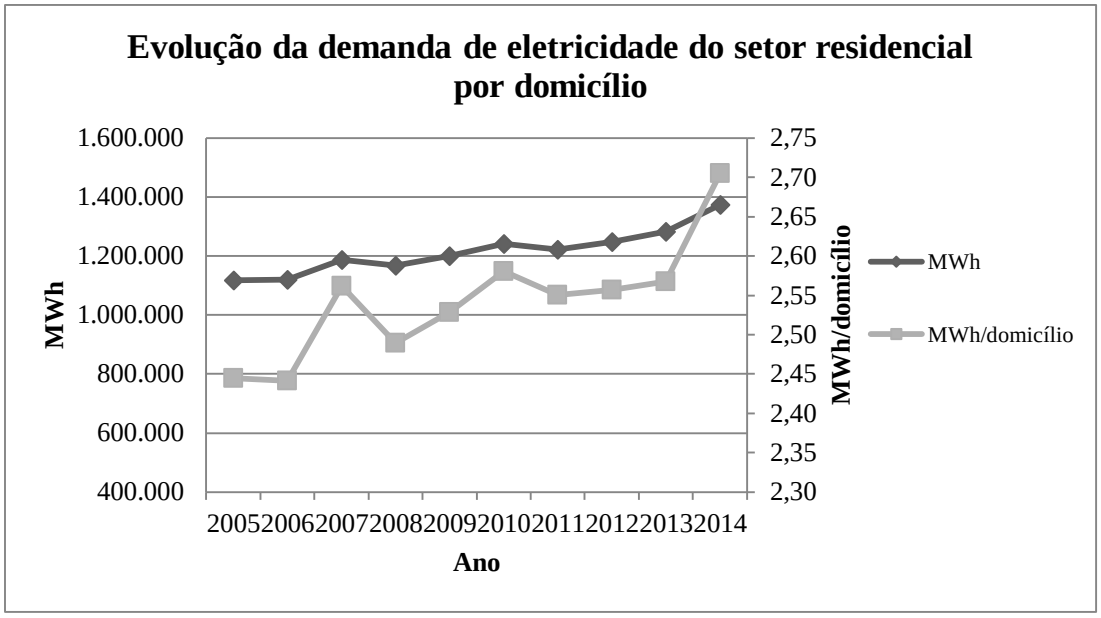


Gráfico 15 - Consumo de eletricidade do setor residencial por nº de domicílios no município de Porto Alegre no período de 2005 à 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSCA, 2016a).

As demais fontes de energia são usadas quase que exclusivamente para cocção de alimentos e para aquecimento de água. Estima-se que cada domicílio, em 2014, consumiu 0,13 tep/domicílio para tais afins, a partir de fontes como: GLP, gás natural e lenha. Como demonstrado no gráfico 4 a demanda por estas fontes de energia tem se mantido praticamente estável, ou seja, com pouco ou nenhum aumento de demanda na última década. Segundo a EPE (2013) o aumento da demanda de eletricidade indica uma tendência à crescente eletrificação das residências e a estagnação do consumo de energia para uso térmico, seja cocção ou aquecimento de água.

4.2.3.3 Setor comercial

O setor comercial do município de Porto Alegre consumiu 174,4 mil tep, em 2014. Esse valor representa 14,9% da demanda final de energia da cidade. Os recursos energéticos mais consumidos neste setor foram: eletricidade (84%); GLP (10%); gás natural (5%); e, óleo diesel (1%). O setor comercial é também o setor que mais movimenta a economia do

município. Conforme os dados econômicos, mais de 85% da atividade econômica de Porto Alegre, em 2013, foi gerada pelo setor serviços. Interessante observar, que em períodos similares, de 2005 a 2013, o VAB do setor de serviços variou em média 23,7% ao ano (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2015). Enquanto, a demanda de energia do setor comercial evoluiu a uma taxa de 4,9% ano, no período de 2005 a 2014.

O gráfico 16 mostra a evolução da demanda de energia e a evolução do VAB do setor serviços. Estes dados podem indicar tanto que o setor de serviços está mais eficiente energeticamente quanto que está agregando maior valor aos produtos comercializados. Pois, entre 2005 e 2013, o VAB variou, aproximadamente, cinco vezes mais do que a energia consumida, ou seja, está produzindo maior valor econômico com um consumo menor de energia.

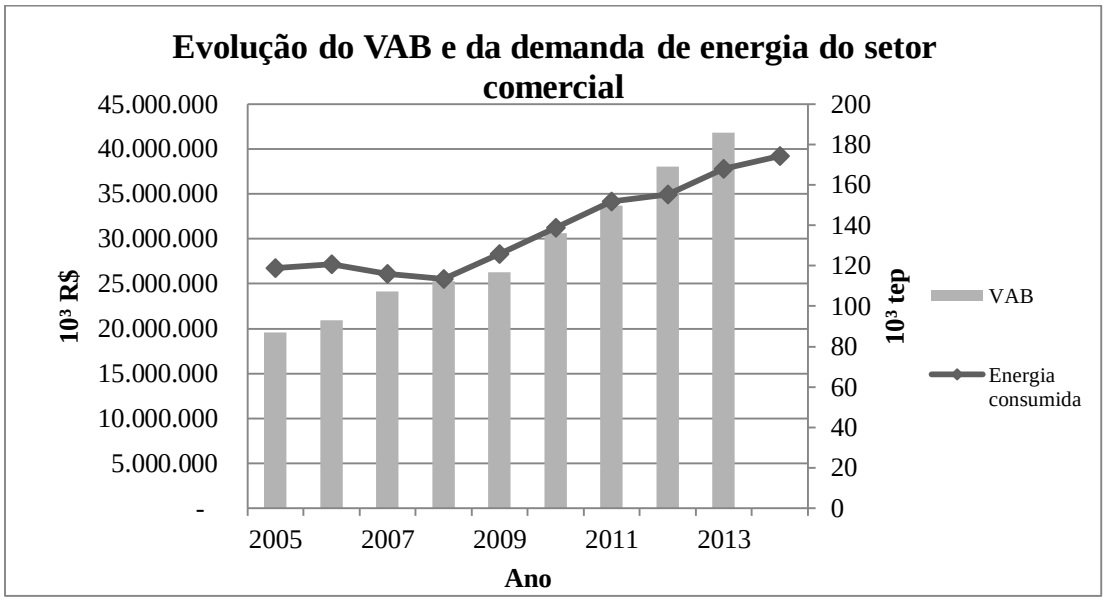


Gráfico 16 - VAB setor comercial e demanda de energia no período de 2005 à 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2015)

Em seguida, se estabeleceu uma relação entre a evolução do consumo de eletricidade com o número de consumidores cadastrados na distribuidora de energia elétrica. De acordo, com os dados obtidos, gráfico 17, foi possível averiguar que em média cada consumidor comercial cadastrado em Porto Alegre consumiu 21.470kWh por ano ou 1.790kWh por mês.

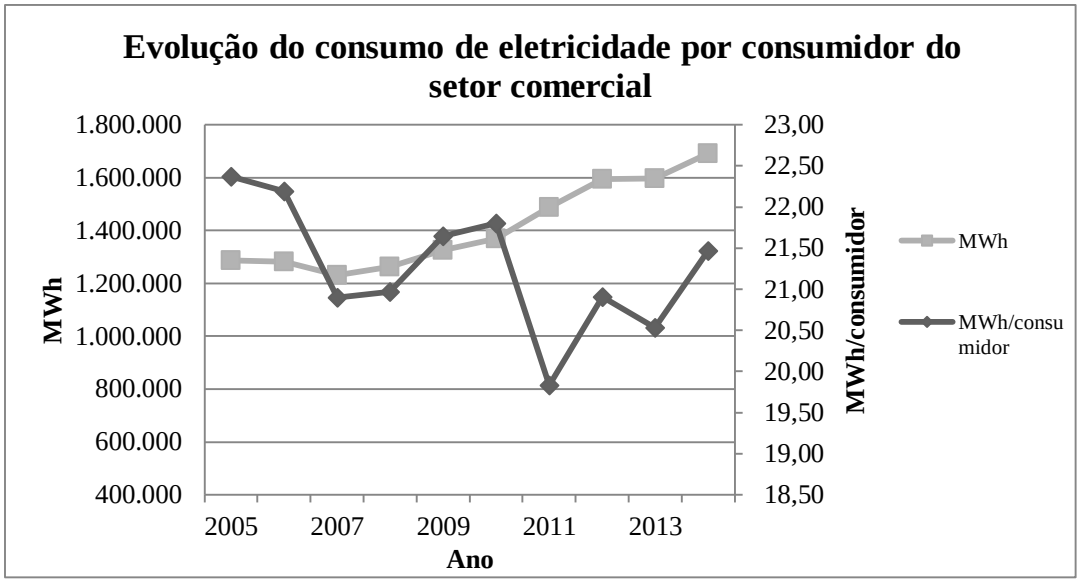


Gráfico 17 - Consumo de eletricidade e consumo pelo número de consumidores, no período de 2005 à 2014

Fonte: Elaboração própria. Documento consultado: (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSCA, 2016a).

Este gráfico apresenta o que os dados apontam: o número de consumidores evoluiu mais que o consumo de eletricidade, consequentemente, o consumo de eletricidade pelo número de consumidores reduziu ao longo dos anos. Isto pode indicar por um lado que os consumidores comerciais estão reduzindo o consumo de energia, por exemplo, através do uso de equipamentos mais eficientes. Por outro lado, pode demonstrar que apesar do aumento no número de estabelecimentos comerciais a demanda pelos serviços prestados ou pelos produtos esteja diminuindo. Contudo, os dados do VAB do setor mostram que a economia do setor continua aquecida, portanto o mais provável é que tenha aumentado a eficiência no uso da energia.

4.2.3.4 Setor industrial

No Balanço energético o setor industrial assim como o setor transporte é desagregado em subsetores que auxiliam na compreensão da demanda de energia nesses setores. Seguindo na direção oposta do setor comercial o setor industrial vem decrescendo nos últimos 30 anos na capital gaúcha. Apenas, entre os anos 2005 a 2014 o consumo de energia deste setor reduziu

44,4%. A partir de dados da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2013), no ano de 2011, apenas 6,9% dos estabelecimentos formais na cidade eram de atividades industriais, enquanto 86,2% eram de empresas prestadoras de serviços e comércio.

Para Soares, et al. (2015 p. 98) “Isso ocorre pelas “deseconomias” de aglomeração da metrópole, entre elas o valor do solo urbano e as restrições legais para implantação de atividades industriais, além de outras desvantagens locacionais advindas do congestionamento da metrópole”. Existe, ao mesmo tempo, uma especialização industrial com a incorporação de processos industriais com tecnologia mais eficientes e menos intensivos energeticamente (KNIJNIK; LOSS, 1994).

Em relação ao consumo de energia, o gráfico 18, mostra o percentual de consumo das principais atividades industriais de Porto Alegre no ano de 2014.

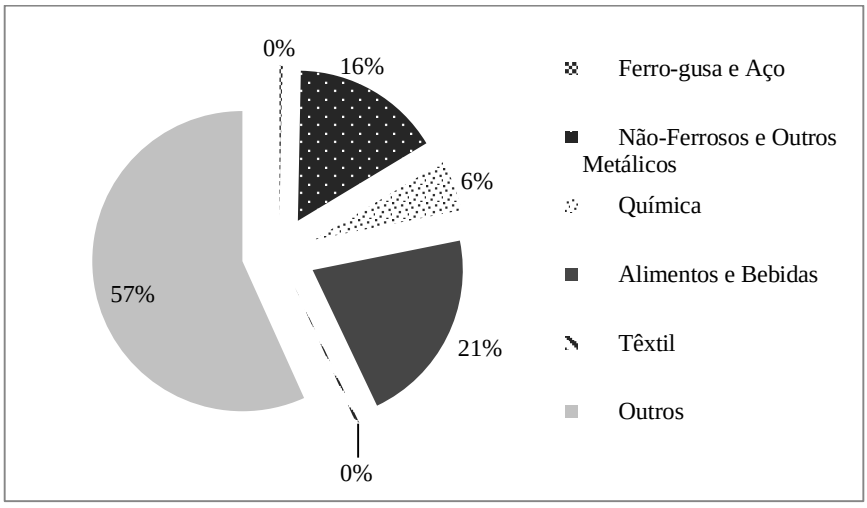


Gráfico 18 - Percentual de consumo nos principais subsetores do setor industrial no ano de 2014

Fonte: Elaboração própria

As fontes de energia mais consumidas no setor industrial, em 2014, foram: eletricidade (81,6%); GLP (7,7%); óleo combustível (5,2%); óleo diesel (3,9%); e, gasolina (1,5%). O setor industrial de Porto Alegre, além de ser o único setor econômico da cidade que decresceu o consumo de energia, também, foi o setor que mais modificou a matriz energética nos últimos anos. O gráfico 19 mostra a variação consumo de energia por fonte do setor industrial comparando tanto com os dados do período estudado nesse trabalho quanto com os dados retirados do BEM de Porto Alegre de 1990, realizado por Knijnik, Protti e Loss (1994, p. 37).

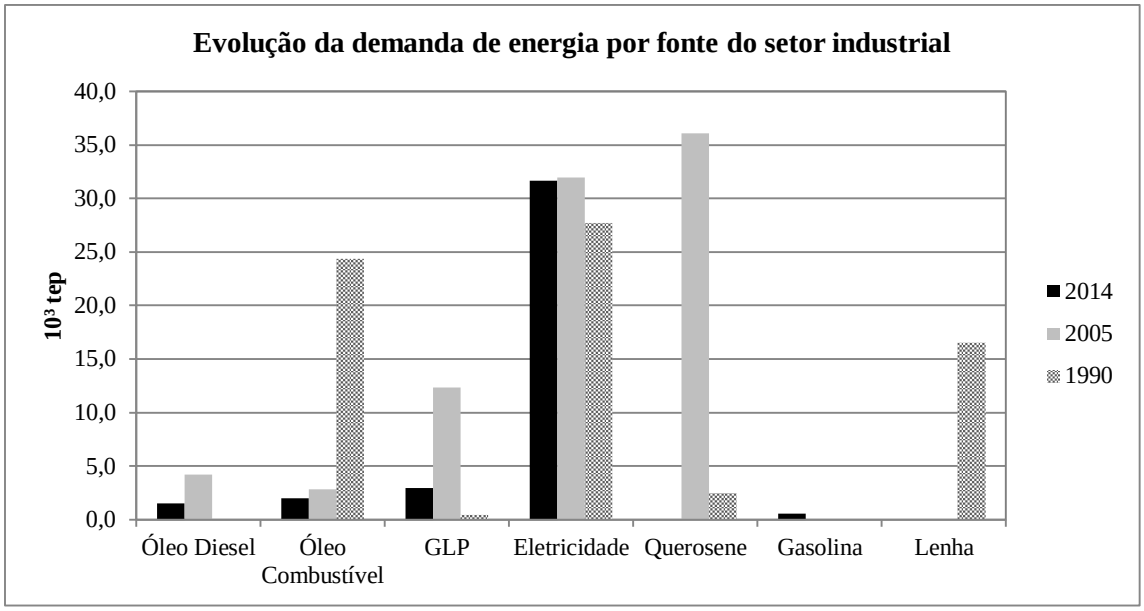


Gráfico 19 - Comparação da matriz energética do setor industrial de Porto Alegre dos anos 1990, 2005 e 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (KNIJNIK, et al., 1994).

Assim como outros setores da economia está havendo no setor industrial um processo eletrificação do seu consumo de energia em detrimento dos combustíveis fósseis. Como mostrado anteriormente, hoje, ela corresponde a 81,6%, em 2005, correspondia a 36,6% e, em 1990, a 25,3% do consumo de energia final. Tal fato, no Brasil é positivo, já que, aproximadamente, 65% da matriz elétrica são provenientes de recursos renováveis (dados de 2014) (BRASIL, 2015a).

Devido à divergência na sistematização dos subsetores do setor industrial usado pela prefeitura de Porto Alegre e pelo BEM não será possível realizar análises mais específicas.

4.2.3.5 Setor público

A partir dos dados do BEM de 2014, verificou-se que o setor público consumiu 31,7x10³tep, o que representou 2,72% do consumo final de energia em Porto Alegre. A principal fonte de energia consumida neste setor é a eletricidade (97,8%), os demais recursos energéticos consumidos são: óleo diesel (1,1%); óleo combustível (0,4%); e, GLP (0,6%).

A evolução do consumo de energia deste setor (gráfico 20) mostrou que a partir de 2009 houve uma redução acentuada, de um pouco mais de 30%, no consumo de energia do setor. Verificou-se que, nesse mesmo período, ocorreu o programa de eficiência energética aplicada à iluminação pública pela Secretaria de Obras e Viação (SMOV). Será descrito, a seguir, em mais detalhes como ocorreu esse programa de eficiência energética.

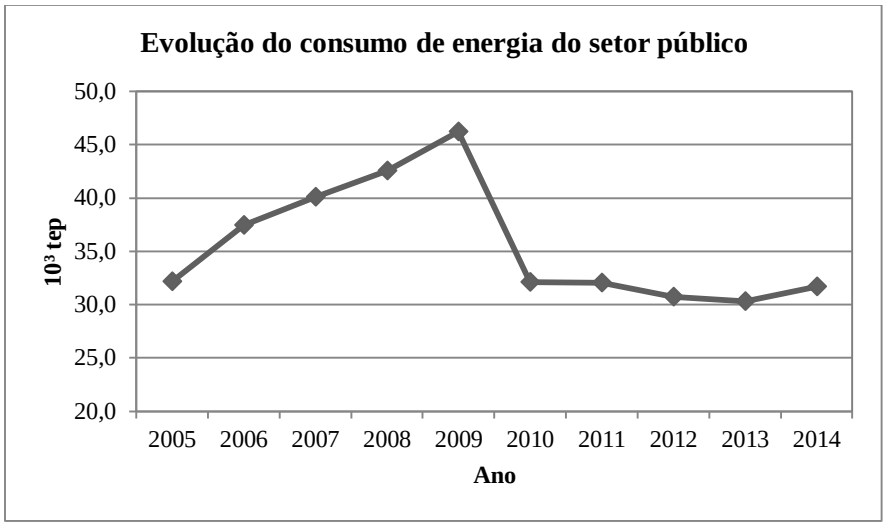


Gráfico 20 – Evolução do consumo de energia no setor público do município de Porto Alegre nos anos 2005 a 2014

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Em seguida, a partir de um diagnóstico energético da demanda de energia de eletricidade realizado pelo CGPEM em 2014 foi possível levantar a demanda de eletricidade por órgão público. O gráfico 21 resume os dados obtidos pelo diagnóstico realizado pela Comissão.

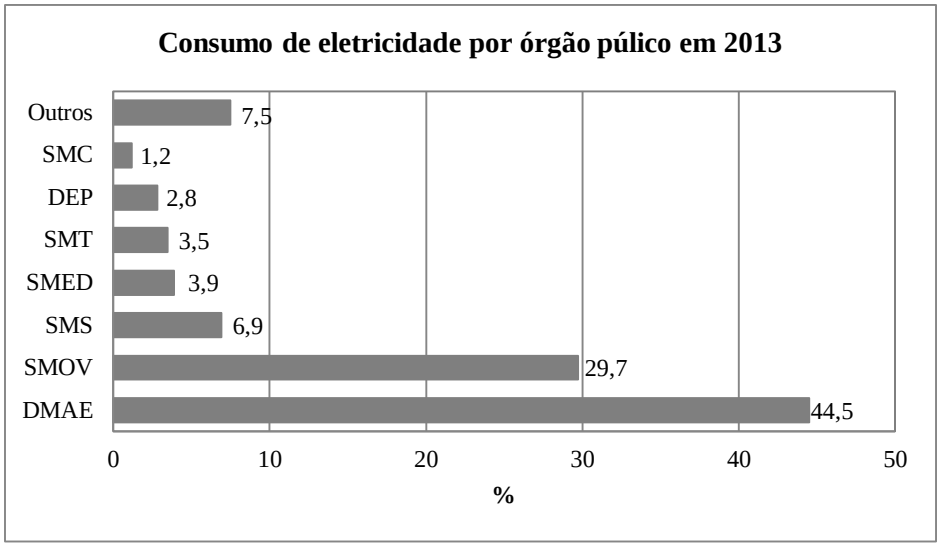


Gráfico 21 - Consumo de eletricidade dos órgãos públicos que integram a PMPA em 2013

Fonte: (CGPEM, 2014, p. 3, adaptado pela autora)

A partir dos dados obtidos foi possível averiguar que o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) e a Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV) são os órgãos que juntos consomem mais de 70% da eletricidade do setor público do município. De acordo com o Relatório da CGPEM (2014, p. 4):

> - O perfil de consumo de energia do DMAE é prioritariamente advindo de bombeamento de água e esgoto (97%), executados permanentemente durante as 24 horas do dia. O consumo de água segue perfil próprio e conhecido, sendo que a partir deste, a produção e bombeamento de água deve atender esta demanda. O consumo de água é sazonal, no verão é maior devido às temperaturas mais altas, enquanto no período do inverno diminui.
>
> - A água tem o seu pico de consumo no final de tarde, período onde temos o horário de ponta da concessionária - das 18 às 21 horas - sendo o consumo tarifado com um multiplicador 4, gerando o extrapolamento da demanda contratada e consequente geração de multas ao DMAE.
>
> - Dado o nível dado de reservação no Município, para estes períodos críticos de abastecimento estamos sem alternativa, senão o acionamento de um número maior de bombas.

Em relação ao consumo da SMOV a principal demanda de eletricidade desta secretaria deve-se à alimentação da rede de iluminação pública, com mais de 85.000 pontos de iluminação (CGPEM, 2014). Conforme o Relatório da Comissão de Gerenciamento e Planejamento Energético Municipal (CGPEM) de 2014 o Projeto Reluz, iniciado em 2009, modernizou grande parte do parque de iluminação, com a substituição do antigo sistema de lâmpadas, luminárias e braços, na maioria composto por lâmpadas vapor de mercúrio, por lâmpadas vapor de sódio e vapor metálico (CGPEM, 2014). Este projeto foi encerrado em 2014 e sua

implementação resultou em pouco mais de 30% de economia aos cofres públicos, cerca de R$ 6.500.000,00, já no ano de 2012 (CGPEM, 2014). Foram gastos nesse projeto R$ 33.499.446,00, portanto o retorno do investimento se dará em 5 anos.

Ainda conforme o diagnóstico do setor público foi observado que nos prédios da Secretaria Municipal de Saúde (SMS) há inúmeros focos de ineficiência, como:

- Elevadores do Hospital de Pronto Socorro e do Hospital Materno Infantil Presidente Vargas apresentando consumo de eletricidade 40% maior do que os elevadores disponíveis no mercado atualmente;
- Uso de caldeira elétrica no Hospital de Pronto Socorro em detrimento de outras mais eficientes, como caldeira a gás;
- Aparelhos de baixa eficiência como: ar condicionado, freezer, refrigeradores;
- Iluminação interna de baixa eficiência na maior parte dos prédios da SMS; Além de,
- Entradas de energia de baixa eficiência em vários prédios da SMS, obsoletas, o que impossibilita a redução de custos através de mudança de tarifação junto a concessionária;

Estima-se que com a implantação de medidas de eficientização nos itens descritos acima, poderá haver uma economia de 5% nos 2 primeiros anos e até 10% a partir do 3º ano (CGPEM, 2014). Os demais órgãos não participaram do diagnóstico realizado pela CGPEM em 2014.

4.2.3.6 Setor agropecuário

Os produtores rurais que integram o setor rural ou agropecuário não deixaram de produzir mesmo não existindo oficialmente no plano diretor de Porto Alegre por mais de 15 anos. Este setor é representado por pequenos produtores de alimentos, entre eles: leguminosas e frutas, e, também por criadores de animais (INSTITUTO BRASILEITO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Segundo Censo Agropecuário de 2006 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016b) haviam 294 estabelecimentos agropecuários em Porto Alegre, com uma área produtiva de 5.597 ha. É um setor com uma pequena

representativa econômica para a cidade, o VAB gerado em 2013 foi de R$ 20.828.180, ou ainda, 0,04% do VAB total do município.

Em relação ao consumo de energia, este setor consumiu 0,25x10³tep, o que representa 0,02% do consumo final de energia da cidade. A única fonte de energia contabilizada no BEM para este setor foi a eletricidade. Contudo, estima-se que também há consumo de lenha, no entanto, não há um levantamento oficial deste consumo, há apenas dados de produção. Como no BEM somente são utilizados dados consolidados não foi possível contabilizar o consumo da lenha.

4.2.3.7 Setor energético

O setor energético abarca a energia consumida nos centros de transformação e/ou nos processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final, (BERS, 2015). Conforme o BEM de Porto Alegre de 2014, este setor consumiu 0,56x10³tep. Sendo que 100% do consumo foi de eletricidade. Ao longo dos 10 anos estudados neste trabalho, o consumo deste se setor se manteve estável. Em média, o consumo anual, desde 2005 até 2014, foi de 0,59x10³tep.

4.3 Avaliação do potencial de produção de energia solar fotovoltaica

Nesta etapa da metodologia de análise do sistema energético de Porto Alegre foram feitas 3 avaliações do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cidade. Primeiramente o potencial teórico, em seguida o potencial técnico e, por fim, potencial realizável. Cada um destes abrange um determinado aspecto do potencial de geração e juntos formam uma avaliação completa sobre a disponibilidade deste recurso na esfera urbana.

4.3.1 Potencial teórico

Segundo os dados macros a média anual de radiação global média no estado do Rio Grande do Sul é de 5,2 kWh/m² e no plano inclinado é de 5,0 kWh/m² e a região Sul do Brasil apresenta a maior variabilidade entre as estações do ano, isto é, o fluxo de radiação solar média no verão é cerca de 65% maior que o fluxo no inverno (PEREIRA, et al., 2006). Estes são os dados comumente utilizados para fazer dimensão de sistemas com aproveitamento da energia solar em Porto Alegre.

A fim de averiguar de forma mais acurada o potencial do recurso solar em Porto Alegre, primeiramente, foi mapeado o potencial de geração de energia solar na cidade de Porto Alegre. A partir dos dados obtidos pelo CRESESB (2016) e utilizando o software ArcGIS foi possível elaborar diferentes mapas da cidade mostrando a irradiação incidente em porções geográficas de 100km² cada. As figuras 18 e 19 mostram respectivamente a média anual e a média sazonal da irradiação incidente sobre o plano inclinado.

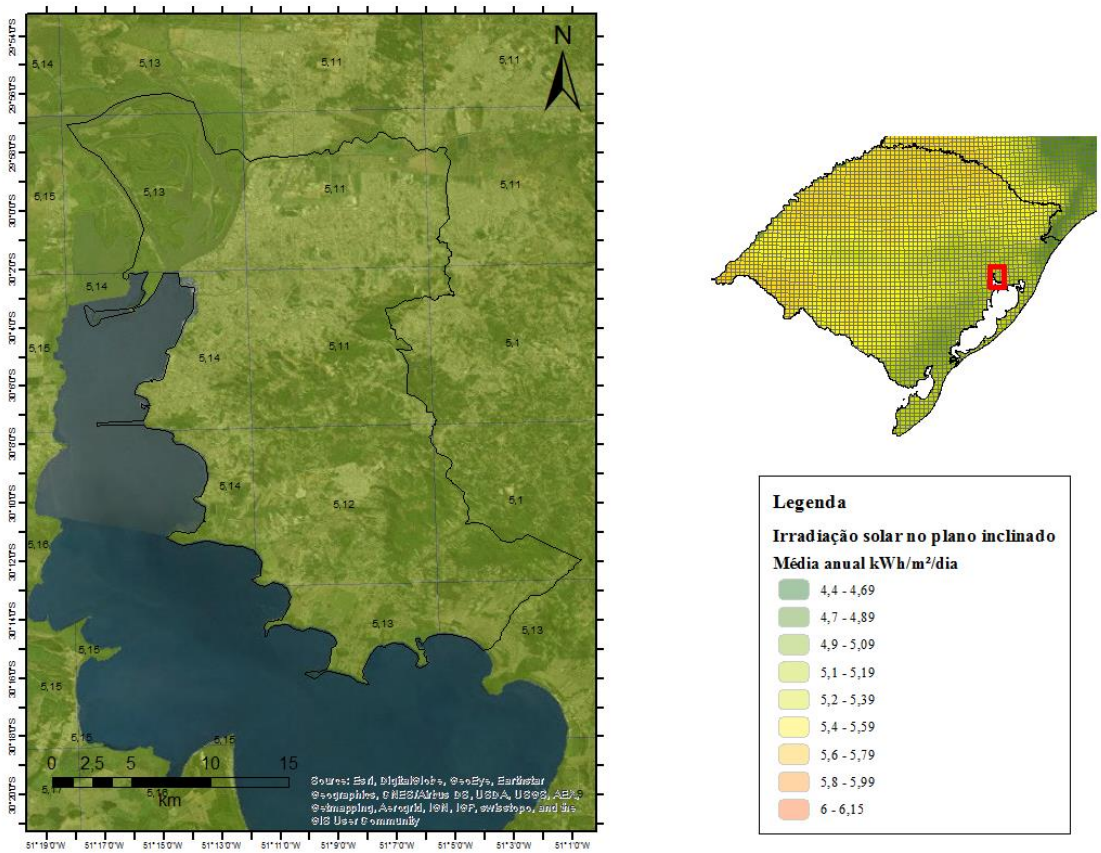


Figura 18 - Média anual da irradiação solar no plano inclinado na cidade de Porto Alegre

Fonte: Elaboração própria, 2016.

A figura 18 também mostra que as regiões mais próximas do Rio Guaíba são as mais favorecidas para a instalação de módulos fotovoltaicos, pois apresentam as maiores médias de incidência da irradiação solar no plano inclinado, 5,14 kWh/m²/dia. A região mais densamente povoada do município, a região central está localizada às margens do rio Guaíba, é consequentemente favorecida para instalação de sistemas com aproveitamento do recurso solar.

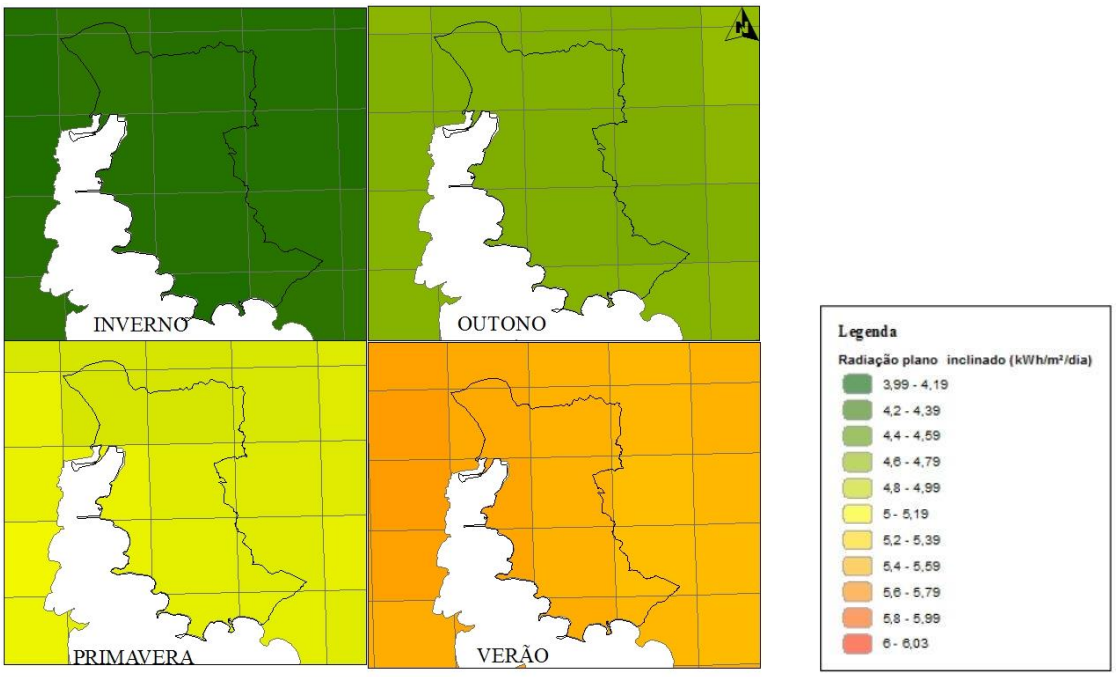


Figura 19 - Média sazonal irradiação incidente no plano inclinado na cidade de Porto Alegre

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Em seguida, a tabela 10 resume os valores plotados nos mapas acima.

Tabela 10 - Média anual e sazonal da irradiação solar no plano inclinado por dia da cidade de Porto Alegre

Irradiação solar no plano inclinado kWh/m²/dia				
Média anual	Média inverno	Média outono	Média primavera	Média verão
5,13	4,12	5,04	5,45	5,89

Fonte: Elaboração própria, 2016.

De acordo com os dados levantados a irradiação solar média no plano inclinado em Porto Alegre é 43% maior no verão do que no inverno e a média anual é de 5,13 kWh/m²/dia. De posse desses dados é possível determinar:

- Potencial teórico de energia solar em Porto Alegre: 637 GWp[43] de potência;
- Potencial de produção de energia: 2.549 GWh/ano[44]; e
- Potencial teórico de produção de energia de: 772 GWh/ano. Considerando apenas a parte do território com área construída, aproximadamente, 30,3% da área total do município.

É sobre esta parcela útil é que são considerados os rendimentos dos sistemas solares utilizados, uma vez que, uma parcela considerável da energia incidente global não é utilizada. Pois, há muitas variáveis, técnicas, climatológicas e de configuração do local que influenciam no aproveitamento da energia solar tanto térmica quanto fotovoltaica. À vista disso, o potencial técnico irá avaliar as variáveis técnicas, isto é, características do sistema que influenciam na produção de eletricidade, bem como, características do local da instalação. Por último, o potencial realizável irá averiguar algumas variáveis econômicas e, consequentemente, se há viabilidade econômica no investimento desses sistemas.

4.3.2 Potencial técnico

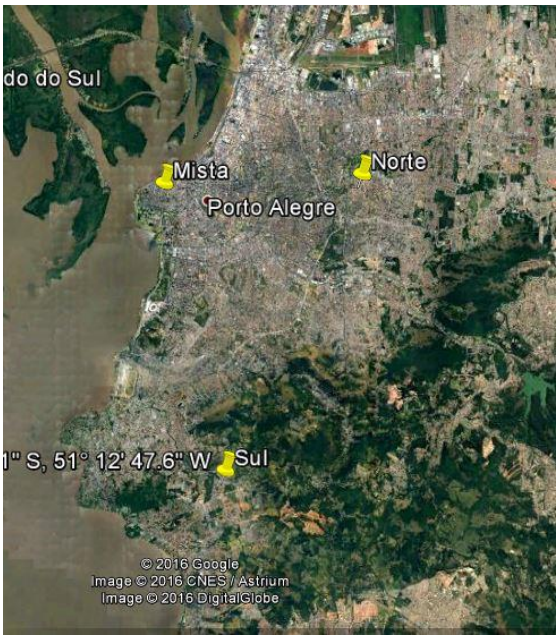
O potencial técnico realizado considerou três tipos de configuração urbana principais, de acordo as características mais comuns da área construída apresentados no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (ver quadro 8). Estas configurações serão denominadas neste trabalho de:

- Mista: área composta por edificações altas e médias, que constitui a maior parte da região central[45] da cidade;
- Norte: área composta na sua maioria por casas e por ser densamente povoada, característica mais comum na região norte e noroeste[46] da cidade;

[43] Considerando 4 horas de sol pleno, e 100% da área do município, 497km².
[44] Considerando a área de Porto Alegre de 497 km², irradiação média anual sob plano inclinado de 5,13 kWh/m²/dia.
[45] A região central é composta pelos bairros: Marcílio Dias, Floresta, Centro, Auxiliadora, Moinhos de Vento, Independência, Bom Fim, Rio Branco, Mont'Serrat, Bela Vista, Farroupilha, Santana, Petrópolis, Santa Cecília, Jardim Botânico, Praia de Belas, Cidade Baixa, Menino Deus, Azenha.
[46] A região norte e noroeste englobam os seguintes bairros: Três Figueiras, Chácara das Pedras, Vila Jardim, Bom Jesus, Jardim do Salso, Jardim Carvalho, Mário Quintana, Jardim Sabará, São João, Santa Maria Goretti, Higienópolis, Boa Vista, Passo D'Areia, Jardim São Pedro,Vila Floresta, Cristo Redentor, Jardim Lindóia, São Sebastião, Vila Ipiranga, Jardim Itu, Sarandi, Rubem Berta, Passo das Pedras.

- Sul: área composta na sua maioria por casas com maior espaçamento e vegetação entre elas, característica mais comum na região sul[47] da cidade.

A figura 20, abaixo, mostra a localização dos 3 pontos simulados no software Solargis pvPlanner sob o mapa de Porto Alegre. Em seguida, as imagens em 3D mostram as características das habitações de cada uma das regiões adotadas na simulação.



(a)

Mista

(b)

Norte

(c)

Sul

(d)

Figura 20 - a) Localização no mapa de Porto Alegre dos três locais simulados no pvPlanner; (b) Imagem 3D mostrando as características típicas da ocupação antrópica da região central da cidade; (c) imagem 3D mostrando as características típicas da ocupação antrópica da região Norte e Noroeste da cidade; (d) imagem 3D as características típicas da ocupação antrópica da região Sul da cidade.

Fonte: (GOOGLE EARTH, 2016).

[47] A região sul abarca os seguintes bairros: Camaquã, Cavalhada, Nonoai, Teresópolis, Vila Nova, Vila Assunção, Tristeza, Vila Conceição, Pedra Redonda, Ipanema, Espírito Santo, Guarujá, Serraria, Hípica, Campo Novo, Jardim Isabel.

Após determinado os locais, para a estimar a produção de eletricidade foi utilizado o simulador SolarGIS-pvPlanner (SOLARGIS, 2016). Os parâmetros de entrada tanto do local quanto do sistema fotovoltaico definidos na simulação são descritos a seguir na tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros dos locais escolhidos e usados como inputs no pvPlanner

Parâmetros/Região	Mista	Norte	Sul
Coordenadas	30° 02' 1.29" S, 51° 14' 0.88" W	30° 01' 52.09" S, 51° 10' 3.57" W	30° 06' 59.61" S, 51° 12' 47.6" W
Altitude	34m	43m	38m
Inclinação do local	4º	4º	3º
Temperatura ambiente anual a 2m	19,5ºC	19.4 °C	19.3 °C
Azimute/Inclinação	206° (sudoeste) / 30°	340° (norte) / 30°	0° (norte) / 30°

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Além destes parâmetros também foram estimados o horizonte topográfico para cada uma dos pontos destacados. As figuras 21, 22 e 23 mostram os horizontes topográficos e o caminho solar anual da região mista, norte e sul respectivamente.

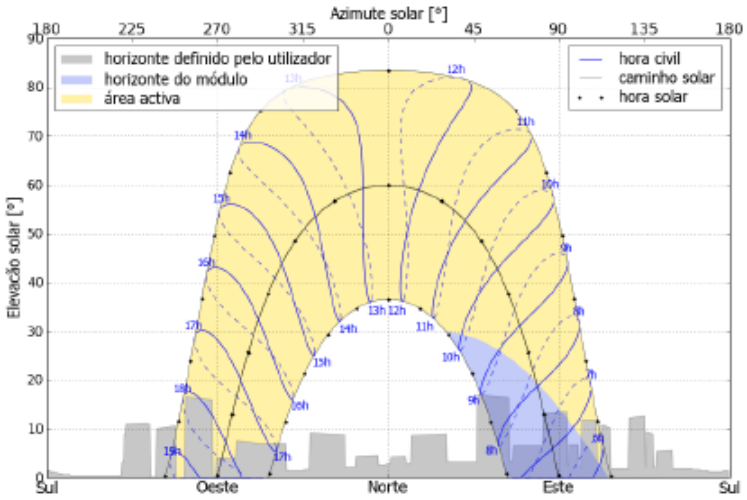


Figura 21 - Caminho solar anual e horizonte topográfico referente a simulação da região mista

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

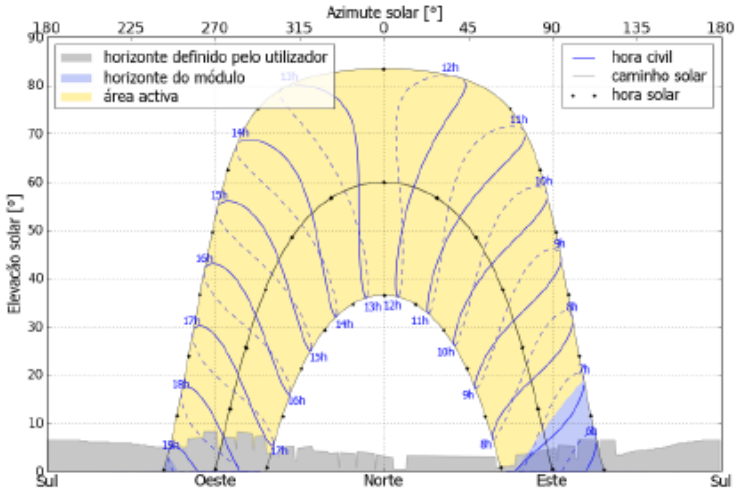


Figura 22 - Caminho solar anual e horizonte topográfico referente a simulação da região norte

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

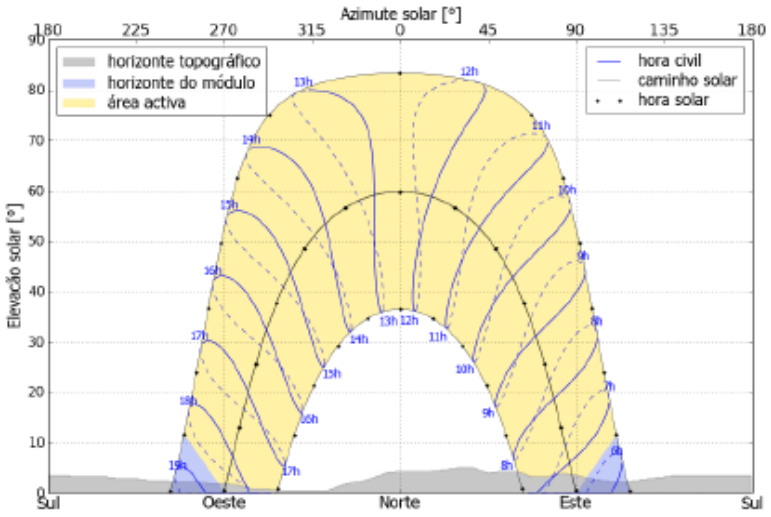


Figura 23 - Caminho solar anual e horizonte topográfico referente a simulação da região sul

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

Já os parâmetros técnicos são os mesmos para as três localidades, eles são:

- Tipo de módulos: silicio cristalino (c-Si)
- Estrutura: estrutura fixa e plana ao telhado
- Eficiência do Inversor: 96.1%
- Perdas CC/CA: 5.5% /1.5%
- Disponibilidade: 99.0%

Após a definição dos dados de entrada e do horizonte topográfico a simulação é realizada e os resultados são obtidos em forma de gráficos e tabelas. Os resultados serão apresentados em quatro etapas descritas a seguir.

4.3.2.1 Irradiação global horizontal anual e a temperatura média

A tabela 12 mostra a irradiação global mensal (G_{hm}) (kWh/m2), irradiação global diária (G_{hd}) (kWh/m2), irradiação difusa diária (D_{hd}) (kWh/m2) e, por último, a temperatura ambiente diária diurna (T_{24}) (ºC) nas três regiões estipuladas neste trabalho.

Tabela 12 - Irradiação global horizontal anual para cada uma das regiões simuladas

Região	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul
Mês		Ghm			Ghd			Dhd			T24	
Jan	201,3	201,2	204,6	6,49	6,49	6,60	2,51	2,54	2,50	24,7	24,6	24,6
Fev	162,2	162,5	163,5	5,79	5,80	5,84	2,27	2,32	2,29	24,3	24,1	24,1
Mar	156,7	156,5	157,1	5,05	5,05	5,07	1,95	1,97	1,96	23,5	23,4	23,4
Abr	116,4	116,1	116,2	3,88	3,87	3,87	1,46	1,49	1,49	20,3	20,2	20,2
Mai	91,6	92,3	91,8	2,96	2,98	2,96	1,24	1,27	1,27	16,6	16,5	16,5
Jun	72,6	74,2	73,6	2,42	2,47	2,45	1,10	1,10	1,11	14,8	14,7	14,6
Jul	82,4	84,4	84,2	2,66	2,72	2,72	1,05	1,07	1,06	13,9	13,8	13,7
Ago	104,1	104,2	103,7	3,36	3,36	3,35	1,44	1,45	1,43	15,5	15,5	15,3
Set	122,2	121,6	120,8	4,07	4,05	4,03	1,88	1,90	1,89	16,4	16,3	16,2
Out	157,1	156,7	158,1	5,07	5,06	5,10	2,19	2,23	2,20	19,2	19,0	19,0
Nov	188,4	189,7	189,5	6,28	6,32	6,32	2,32	2,34	2,32	21,2	21,0	21,1
Dez	206,2	205,3	206,2	6,65	6,62	6,65	2,48	2,51	2,51	23,6	23,4	23,4
ano	**1661,2**	**1664,7**	**1669,3**	**4,55**	**4,56**	**4,57**	**1,82**	**1,85**	**1,83**	**19,5**	**19,4**	**19,3**

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

A figura 24 mostra a média da irradiação global diária e difusa ao longo do ano e a temperatura média ambiente a 2 metros das regiões estudadas da cidade de Porto Alegre.

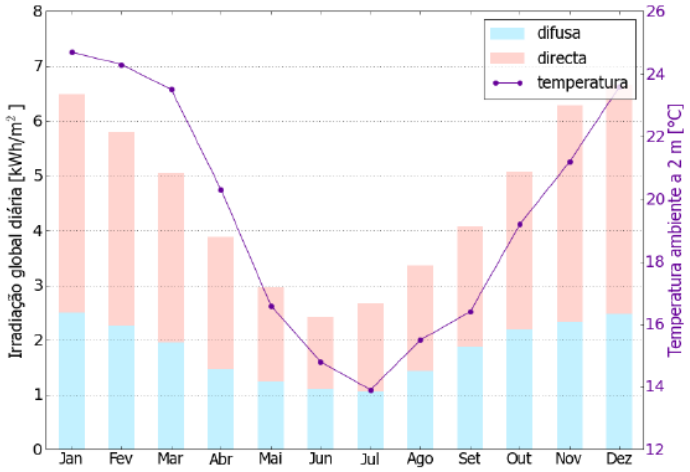


Figura 24 - Representação gráfica da irradiação global diária e difusa ao longo do ano e a temperatura média ambiente simuladas para a cidade de Porto Alegre

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

4.3.2.2 Irradiação solar global no plano inclinado

Para sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica usa-se o ângulo de inclinação igual ao da latitude para obter o melhor aproveitamento da irradiação solar. Neste caso, os dados de irradiação solar no plano inclinado para Porto Alegre estão considerando um ângulo de 30º, pois a latitude em Porto Alegre é 30°. Além da irradiação solar global mensal (kWh/m²) o SOLARGIS, apresenta os valores da irradiação solar global diária (kWh/m²), da irradiação solar difusa diária (kWh/m²) e as perdas de irradiação solar global por sombreamento topográfico (de terreno) (%). A tabela 13 resume os valores obtidos pelo simulador para as três regiões estudadas na cidade de Porto Alegre.

Tabela 13 - Irradiação global mensal (Gim) e diária (Gid), irradiação difusa diária (Did) e as perdas de irradiação global por sombreamento topográfico de terreno para o plano inclinado (Shloss) em %

Região	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul
Mês		Gim			Gid			Did			Shloss	
Jan	178,6	183	185,7	5,77	5,89	6,00	2,32	2,39	2,36	2,7	0,7	0,5
Fev	132,1	158,8	160,6	4,72	5,67	5,74	2,01	2,26	2,24	3,1	0,8	0,5
Mar	114,1	170	173	3,68	5,49	5,58	1,66	2,02	2,03	1,5	0,8	0,5
Abr	71,2	142,1	145	2,37	4,73	4,83	1,19	1,61	1,62	2,2	1,1	0,5
Mai	48,1	123,5	125,8	1,55	3,99	4,05	0,97	1,40	1,41	2,2	1,5	0,7
Jun	36,1	104,4	105,4	1,20	3,48	3,51	0,86	1,22	1,24	2,2	0,8	0,8
Jul	40,7	118	120,9	1,31	3,80	3,90	0,83	1,20	1,21	1,9	1,1	0,7
Ago	61,9	131,1	133	2,00	4,23	4,29	1,15	1,56	1,56	2,1	1,0	0,6
Set	85,9	136,2	136,9	2,86	4,54	4,56	1,55	1,95	1,96	1,8	1,0	0,6
Out	124,9	159	160,7	4,03	5,13	5,19	1,91	2,19	2,17	2,9	0,9	0,6
Nov	163,6	176,6	175,9	5,45	5,89	5,85	2,13	2,23	2,20	3,2	0,7	0,5
Dez	187,9	182,5	182,4	6,07	5,89	5,89	2,32	2,33	2,33	1,9	0,7	0,5
ano	**1245,1**	**1785,2**	**1805,3**	**3,41**	**4,89**	**4,95**	**1,57**	**1,86**	**1,86**	**2,4**	**0,9**	**0,6**

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

O gráfico 22 apresenta a variação da irradiação global diária ao longo de um ano para das regiões, mista, norte e sul, aqui estudadas.

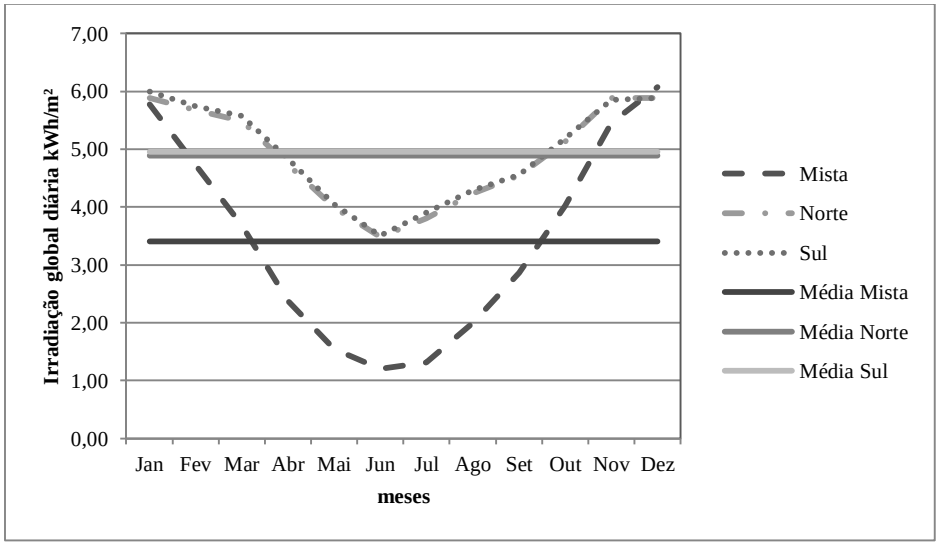


Gráfico 22 - Irradiação global diária e média anual das regiões estudadas ao longo de um ano.

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documento consultado: (SOLARGIS, 2016a).

4.3.2.3 Energia inicial produzida pelo sistema fotovoltaico

A tabela 14 mostra: a produção de energia específica mensal total (E_{sm}) (kWh/kWp); produção específica de energia diária total (E_{sd}) (kWh/kWp); percentagem mensal de energia total produzida (E_{share}) (%); e, a taxa de desempenho ou Performance Ratio (PR) (%), das três regiões estudadas. Ressaltando que a taxa de desempenho é a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m² (h) incidentes no painel fotovoltaico, também normalmente vinculada a um ano de operação, performance ratio anual, porém, pode ser também considerada a *performance ratio* mensal. Esta grandeza é expressa em porcentagem.

Tabela 14 - Energia inicial produzida pelo sistema fotovoltaico nas três regiões simuladas

Região	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul	Mista	Norte	Sul
Mês		Esm			Esd			Eshare			PR	
Jan	132,2	134	136	4,26	4,32	4,39	14,40	9,90	10,00	72,0	72,7	72,9
Fev	98	116,8	118,1	3,50	4,17	4,22	10,70	8,70	8,70	71,9	73,0	73,2
Mar	84	125,8	128	2,71	4,06	4,13	9,20	9,30	9,40	72,6	73,4	73,7
Abr	51	107,6	110	1,70	3,59	3,67	5,60	8,00	8,10	70,1	74,8	75,5
Mai	32,6	96,3	98,2	1,05	3,11	3,17	3,60	7,10	7,20	66,2	76,8	77,5
Jun	23,7	82,5	83,4	0,79	2,75	2,78	2,60	6,10	6,10	64,1	78,3	78,5
Jul	26,9	93,3	95,8	0,87	3,01	3,09	2,90	6,90	7,00	64,8	78,2	78,7
Ago	44,6	102	103,6	1,44	3,29	3,34	4,90	7,60	7,60	70,5	77,0	77,5
Set	65,2	104,9	105,4	2,17	3,50	3,51	7,10	7,80	7,70	74,6	76,2	76,5
Out	95,1	120,2	121,4	3,07	3,88	3,92	10,40	8,90	8,90	74,0	74,9	75,1
Nov	123,2	131,5	130,9	4,11	4,38	4,36	13,40	9,70	9,60	72,9	73,9	74,1
Dez	139,8	134,2	134,3	4,51	4,33	4,33	15,30	9,90	9,80	73,0	73,0	73,2
ano	**916,3**	**1349,1**	**1365,1**	**2,51**	**3,70**	**3,74**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**71,8**	**74,9**	**75,2**

Fonte: (SOLARGIS, 2016a)

O gráfico 23 resume os valores da taxa mensal de energia total produzida nas três regiões estudadas.

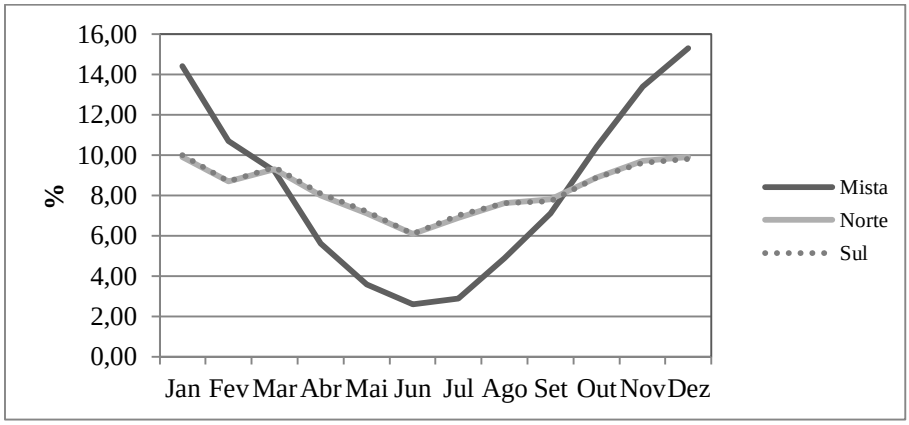


Gráfico 23 - Taxa mensal de energia total produzida nas três regiões estudadas

Fonte: Elaboração própria, 2016.

4.3.2.4 *Performance ratio* e perdas totais do sistema

Os últimos resultados referentes ao potencial técnico mostram a energia total produzida considerando as perdas totais do sistema, e, por fim, o desempenho global dos sistemas estudados. As tabelas 15, 16 e 17, mostram os valores para a região mista, norte e sul.

Tabela 15 - Taxa de desempenho e perdas totais do sistema da simulação feita para região mista

Fase na conversão de energia	Energia produzida	Perdas	Perdas	Performance Ratio	
	[kWh/kWp]	[kWh/kWp]	[%]	[parcial %]	[acumul. %]
1. Irrad. global incidente na superfície (entrada)	1276			100,0	100,0
2. Irrad. global reduzida por sombreamento topográfico (de terreno)	1245	-31,0	-2,4	97,6	97,6
3. Irrad. global reduzida por refração	1176	-70,0	-5,6	94,4	92,1
4. Conversão CC nos módulos	1035	-141,0	-12,0	88,0	81,1
5. Outras perdas CC	978	-57,0	-5,5	94,5	76,6
6. Inversores (conversão CC/CA)	940	-38,0	-3,9	96,1	73,7
7. Perdas CA de transformador e cabos	926	-14,0	-1,5	98,5	72,5
8. Disponibilidade reduzida	916	-9,0	-1,0	99,0	71,8
Performance Ratio total do sistema	916	-360,0	-28,2		71,8

Fonte: Solargis, 2016a.

Tabela 16 - Taxa de desempenho e perdas totais do sistema da simulação feita para região norte

Fase na conversão de energia	Energia produzida	Perdas	Perdas	Performance Ratio	
	[kWh/kWp]	[kWh/kWp]	[%]	[parcial %]	[acumul. %]
1. Irrad. global incidente na superfície (entrada)	1802			100,0	100,0
2. Irrad. global reduzida por sombreamento topográfico (de terreno)	1785	-17,0	-0,9	99,1	99,1
3. Irrad. global reduzida por refração	1733	-52,0	-2,9	97,1	96,2
4. Conversão CC nos módulos	1523	-210,0	-12,1	87,9	84,5
5. Outras perdas CC	1440	-84,0	-5,5	94,5	79,9
6. Inversores (conversão CC/CA)	1384	-56,0	-3,9	96,1	76,8
7. Perdas CA de transformador e cabos	1363	-21,0	-1,5	98,5	75,6
8. Disponibilidade reduzida	1349	-14,0	-1,0	99,0	74,9
Performance Ratio total do sistema	1349	-453,0	-25,1		74,9

Fonte: Solargis, 2016a.

Tabela 17 - Taxa de desempenho e perdas totais do sistema da simulação feita para região sul

Fase na conversão de energia	Energia produzida	Perdas	Perdas	Performance Ratio	
	[kWh/kWp]	[kWh/kWp]	[%]	[parcial %]	[acumul. %]
1. Irrad. global incidente na superfície (entrada)	1815			100,0	100,0
2. Irrad. global reduzida por sombreamento topográfico (de terreno)	1805	-10,0	-0,6	99,4	99,4
3. Irrad. global reduzida por refração	1753	-52,0	-2,9	97,1	96,6
4. Conversão CC nos módulos	1542	-211,0	-12,1	87,9	84,9
5. Outras perdas CC	1457	-85,0	-5,5	94,5	80,3
6. Inversores (conversão CC/CA)	1400	-57,0	-3,9	96,1	77,1
7. Perdas CA de transformador e cabos	1379	-21,0	-1,5	98,5	76,0
8. Disponibilidade reduzida	1365	-14,0	-1,0	99,0	75,2
Performance Ratio total do sistema	1365	-450,0	-24,8		75,2

Fonte: Solargis, 2016a.

Conforme os resultados obtidos a maior perda de energia dos sistemas simulados (12,0% para região mista e 12,1% para as regiões norte e sul) está relacionada com a conversão CC do módulo, valor este que muda de acordo com a temperatura do local e de acordo com o tipo do módulo e fabricante. Em seguida, as perdas designadas como outras perdas CC (5,5% para todas as regiões) variam pouco com o local e mais com a configuração do sistema. Como, neste caso, as configurações são idênticas as perdas são equivalentes. O mesmo ocorre para as perdas relacionadas com os inversores (conversão CC/CA) e com as perdas CA no transformador e nos cabos.

As perdas que mais foram influenciadas devido às características do local foram as perdas da irradiação global por sombreamento topográfico de terreno e as perdas da irradiação global por refração. Neste caso, a região mista apresentou a maior redução, menos 31kWh/kWp ou 2,4% do total da energia produzida em condições ideias. Já, na região norte as perdas foram de menos 17kWh/kWp ou 0,9%, perdas um pouco maiores do que a simulação na região sul (-10kWh/kWp ou 0,6%). As perdas estão diretamente relacionadas com o sombreamento causado pelas edificações à frente do local instalado, ou seja no horizonte. Consequentemente, a região mista localizada numa região com edificações mais altas no seu horizonte apresentou maiores perdas nesse sentido.

Por fim, as perdas pela refração do módulo foram as que mais divergiram entre a região mista e as demais, menos 70kWh/kWp, ou 5,6%, contra menos 52kWh/kWp nas demais. Esta diferença está diretamente relacionada com as perdas do tipo de instalação do módulo. Nesse estudo, foi adotado um sistema instalado no telhado da edificação, de acordo com o Solargis

(2016b) nesses casos os módulos fotovoltaicos são frequentemente instalados em posição sub-ótima (com desvio diferente do ângulo ótimo tanto de inclinação quanto do azimute), o que resulta numa menor relação de desempenho. Em regiões densamente povoadas com edificações de médio e grande porte há maior dificuldade em obter o ângulo azimute ideal, tanto pelo sombreamento das outras edificações quanto pela própria característica da edificação. Como foi o caso da região mista, a parte do telhado da edificação que permitia a instalação dos módulos estava posicionada na orientação do azimute a sudoeste e o ideal seria que a orientação do azimute fosse para o norte.

4.3.3 Potencial realizável

O potencial realizável desta pesquisa visa averiguar se os sistemas fotovoltaicos propostos são factíveis, ou seja, se os projetos possuem viabilidade econômica para serem efetivados no período estudado. Neste caso, considerando que apenas o indicador econômico seja levado em conta como critério de decisão, pois, além deste pode haver outros fatores que motivem a execução de um projeto solar, como: a independência energética, redução das emissões de gases do efeito estufa, entre outras motivações pessoais.

Para avaliar a viabilidade econômica foi realizado uma análise financeira utilizando 3 figuras de mérito: payback simples, VPL e TIR. Foram considerados dois cenários, um referente ao consumo de energia no setor residencial e outro, o consumo de energia do setor comercial. Ao total, são seis resultados distintos, já que são três localidades distintas sendo estudadas para cada cenário. A primeira tabela apresenta os valores de entrada, entre eles: o custo inicial de cada sistema fotovoltaico, eletricidade entregue mensalmente e o fluxo de caixa mensal.

Os parâmetros de entrada das equações 1, 2 e 3, estão descritos nas tabelas 18 e 19. A primeira tabela, tabela 18, reúne os parâmetros necessários para o cálculo do investimento inicial, do fluxo de caixa descontado e da TIR, utilizados nas seis análises consideradas nessa etapa do trabalho.

Tabela 18 - Parâmetros usados para avaliação financeira

Parâmetros por setor	Custo sistema fotovoltaico (R$/kWp)[48]	Potência instalada49 (kWp)	Preço eletricidade bandeira vermelha (R$)	Taxa de desconto (%)[50]
Residencial	9.500,00	1,80	0,52817	14,25
Comercial	5.650,00	15	0,52817	14,25

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Em seguida, a tabela 19 apresenta os valores encontrados para: o custo total do investimento, a eletricidade entregue anualmente e o fluxo de caixa anual para cada um dos cenários considerados.

Tabela 19 - Custo total, eletricidade entregue e fluxo de caixa anual do setor residencial e comercial para as três localidades simuladas

Regiões de Porto Alegre	Residencial	Comercial	Residencial	Comercial	Residencial	Comercial
	Custo total (R$)	Custo total (R$)	Eletricidade entregue (kWh/ano)	Eletricidade entregue (kWh/ano)	Fluxo de Caixa anual (R$)	Fluxo de Caixa anual (R$)
Mista	17.100	84.750	1.649	13.743	871	7.258
Norte	17.100	84.750	2.429	20.245	1.283	10.693
Sul	17.100	84.750	2.457	20.473	1.298	10.813

Fonte: Elaboração própria, 2016.

De posse dos resultados acima e considerando o tempo do projeto de 25 anos e desconsiderando as cobranças de ICMS, taxas de iluminação pública e de serviço público, a tabela 20 resume os valores obtidos para o potencial realizável.

[48] Valores obtidos a partir de simulação realizada no sítio: http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar, no dia 04 outubro de 2016.

[49] Para determinar a potência instalada foi considerado que toda a energia consumida, tanto no setor residencial quanto no comercial, será suprida por fonte solar. De acordo com dados do BEM e da FEE, gráfico 15, foi estimado para o setor residencial um consumo médio de 225 kWh/domicílio. Então, um sistema de painéis fotovoltaicos com 8 placas com 255W de potência cada, num total de 1,8 kW de potência instalada, poderá atender a essa demanda. Em seguida, para um consumo comercial de 1.790 kWh/consumidor, gráfico 17, estimou-se que a instalação de 60 painéis com uma potência de 250W cada, num total de 15kW de potência instalada, poderá suprir a essa demanda de eletricidade.

[50] Essa taxa corresponde à meta da taxa Selic (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) para 2016 (BCB, 2016). Usualmente, para um projeto de baixo risco a taxa de desconto utilizado pode ser a rentabilidade de títulos públicos do governo federal ou a remuneração do capital em algum projeto de risco equivalente. Todavia, para a determinação mais precisa da taxa de desconto outros fatores devem ser levados em conta, como o nível de endividamento da empresa e o seu custo de capital (NAKABAYASHI, 2015).

Tabela 20 - Payback simples, VPL e TIR dos setores residencial e comercial para as três localidades simuladas neste estudo

Regiões de Porto Alegre	Residencial			Comercial		
	Payback (anos)	VPL (R$)	TIR (%)	Payback (anos)	VPL (R$)	TIR (%)
Mista	20	- 11.206	2,0	12	- 35.636	7,0
Norte	13	- 8.417	5,6	8	- 12.396	11,8
Sul	13	- 8.320	5,7	8	- 11.582	12,0

Fonte: Elaboração própria, 2016.

Conforme os resultados do VPL e da TIR para o consumidor residencial nenhuma das regiões simuladas é viável economicamente para a produção de energia solar fotovoltaica, uma vez que, o VPL foi negativo para os três casos e a TIR foi muito inferior à taxa mínima de atratividade considerada neste projeto (14,25%). Contudo, considerando apenas o payback simples há viabilidade econômica para as três regiões, pois o payback é menor do que os 25 anos do projeto, para os três casos e, principalmente, para as regiões norte e sul, que apresentaram um payback de 13 anos cada.

Para o consumidor comercial há maior vantagem econômica, pois além das três regiões apresentaram payback menores do que os 25 anos de projeto, o VPL, apesar de ser negativo, é muito inferior, se considerando o valor inicial de projeto do consumidor comercial que é superior ao do residencial. Além disso, as TIR, nos três casos simulados do investimento do consumidor comercial são maiores do que os resultados da TIR do consumidor residencial, porém ainda são menores do que a taxa mínima de atratividade considerada nesse projeto.

Em seguida, com intuito de analisar a variação do VPL em relação a diferentes taxas de desconto, foi realizada uma análise com diferentes valores para a taxa de desconto, 7,23%[51] e 10%. Uma vez que, a taxa de desconto varia conforme os riscos que o cliente pode arcar. Os gráficos 24 e 25 mostram a variação do VPL considerando a taxa de desconto do projeto, 14,25%, e as taxas 7,23% e 10%, a fim, de comparar os resultados.

[51] Taxa de inflação prevista para 2016 (BRASIL, 2016).

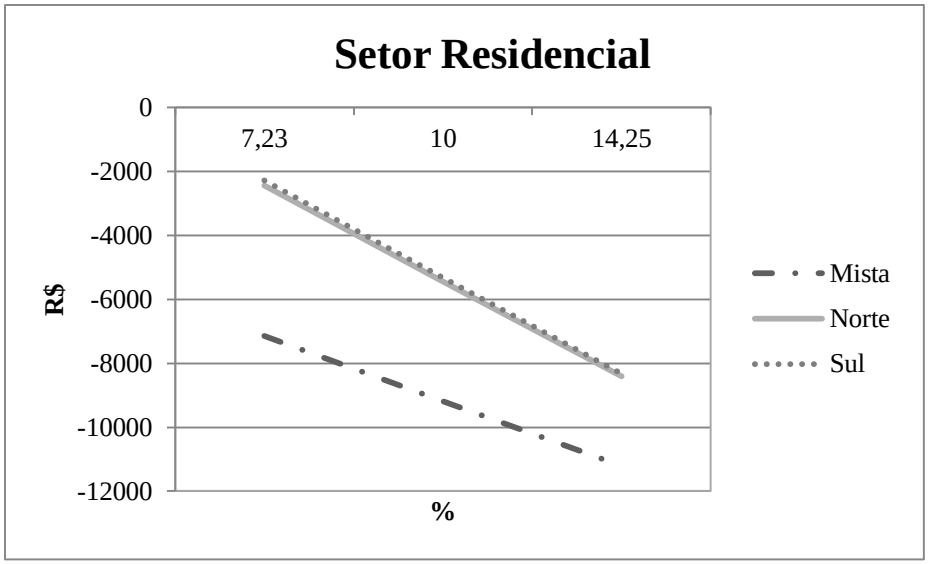


Gráfico 24 - Variação do VPL considerando diferentes taxas de desconto para o setor residencial

Fonte: Elaboração própria, 2016.

No caso do consumidor residencial mesmo com taxas de desconto menores o VPL ainda é negativo o que demonstra uma baixa atratividade para investimento. No caso da instalação de um sistema fotovoltaico na região mista da cidade seria ainda mais inviável, devido as maiores perdas do sombreamento.

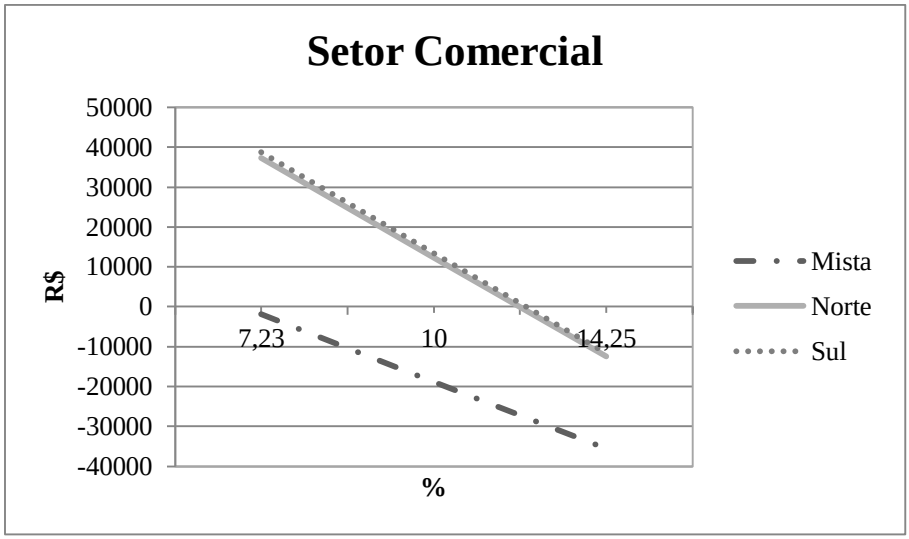


Gráfico 25 - Variação do VPL considerando diferentes taxas de desconto para o setor comercial

Fonte: Elaboração própria, 2016.

A partir deste gráfico verifica-se que para as regiões norte e sul o VPL se torna positivo a partir de taxas de desconto menores que 12%. No caso, da região mista, como as perdas devido ao sombreamento são maiores e, consequentemente a produção de energia também é menor, mesmo com taxas de desconto menores ainda seria inviável economicamente o investimento na produção de energia solar fotovoltaica, ressaltando que sob a premissa de um VPL positivo para ser viável.

4.4 Análise dos resultados

Em linhas gerais, este capítulo apresenta o estudo de caso dessa dissertação: a aplicação de uma metodologia de análise do sistema energético de Porto Alegre. Esta metodologia prevê o levantamento de dados diversos que se complementam. Por essa característica, possibilitam uma análise integrada e mais aprofundada do sistema energético da cidade. E, a partir dos dados pesquisados nesse capítulo é possível fazer afirmações importantes sobre diferentes aspectos do uso da energia na cidade. Serão apresentados, em seguida, os principais resultados e discussões levantados neste capítulo.

Incialmente, pode-se perceber que, aproximadamente, 39% do território da cidade possui ocupação antrópica, ou seja, área construída. No entanto, a taxa de urbanização da população é de 100%. Então, quase toda a população vive em 199 km², ou ainda, com uma densidade demográfica média de 7.428 hab/km² na sua área urbana. Dentre as regiões da cidade, a região central é a mais desenvolvida, de acordo com os dados do IDHM. As regiões menos desenvolvidas da cidade se localizam no sul e no extremo sul.

Na legislação municipal estão previstos o Programa de Conservação de Energia e o Plano de Gerenciamento de Energia. Tais planos, no entanto, nunca foram elaborados. Assim como, a CGPEM, que em dois anos de existência, elaborou apenas um diagnóstico do setor público da PMPA. Isto se deve, em parte, a dificuldade de organizar as diferentes necessidades e prioridades de cada secretaria. Faltou uma liderança imparcial e integradora que visse o PEM de Porto Alegre como algo além das demandas das secretarias. Afinal, o PED é, por natureza, interdisciplinar e deve contar com diferentes especialistas na sua concepção. Sugere-se, então,

a transferência da CGPEM para uma liderança desvinculada de qualquer secretaria. Permitindo, assim, uma neutralização e visão ampla sobre as demais secretarias.

Apesar de não haver um plano municipal energético definido, é permitido na esfera federal a mini e microgeração de energia. Desde que a microgeração foi regulamentada pela ANEEL, no final de 2012, foram instalados apenas 30 sistemas de produção de energia, a partir de fonte solar fotovoltaica na cidade, com um total de 4.1 kW de potência instalada. Somente na cidade de Santa Cruz do Sul, no interior do estado do Rio Grande do Sul, foram instalados 76 sistemas fotovoltaicos com quase 600 kW de potência. Dessa forma, espera-se que com a definição de um plano específico sobre o uso da energia na cidade a mini e microgeração possam ser mais difundidas, bem como, inclusas ao planejamento urbano de Porto Alegre, o PDDUA.

A partir dos resultados do BEM de Porto Alegre foi possível analisar a quantidade total de energia consumida e quais foram os principais consumidores. A quantidade foi mensurada a partir das fontes de energia consumidas. Os consumidores foram determinados a partir dos setores subsetores da economia da cidade. Estes dados juntamente com os outros aspectos, levantados na caracterização municipal, possibilitaram a realização de diferentes análises sobre o uso da energia na cidade, permitindo obter um exame aprofundando sobre a demanda de energia na cidade de Porto Alegre.

Os principais resultados do BEM do município mostraram que a demanda final na cidade foi de 1.166,6 mil tep, em 2014. Este total representou 8,7% do consumo final de energia do estado do estado do Rio Grande do Sul e, 0,44% do consumo final de energia do Brasil. Os recursos energéticos mais consumidos, no mesmo ano, foram: a eletricidade (28,1%) e a gasolina (26,8%). Juntos estes energéticos consomem mais da metade da energia total utilizada na cidade. Nos 10 anos estudados nesta pesquisa, de 2005 a 2014, o uso final da energia aumentou 32,4%, ou seja, aumentou oito vezes mais que o aumento da população. Sendo que, os recursos energéticos que mais aumentaram o consumo, entre os anos 2005 e 2014, foram: o querosene (79,5%); a gasolina (46,6%); e, a eletricidade (22,2%).

O consumo de energia per capita de Porto Alegre é 34,5% menor do que a do estado do Rio Grande do Sul, em compensação, o consumo per capita de eletricidade do município é 322% superior ao do estado. Este fato demonstra o aumento da importância da energia elétrica na cidade. Da mesma forma, a importância em averiguar os potencias para otimização do seu

consumo. Ainda, no período estudado, constatou-se que o PIB cresceu mais do que o consumo de energia, consequentemente, a intensidade energética do município reduziu, em média 4,1% ao ano. Atribui-se esta queda na intensidade energética à redução da participação das indústrias e aumento da participação do setor de serviços na economia da cidade. Atualmente, o setor econômico que movimenta mais de 85% da economia da cidade é o setor serviços. Neste, setor há um maior número de estabelecimentos nos subsetores imobiliário e varejista.

O setor comercial assim como o setor residencial estão diretamente relacionados com o setor transporte. Pois, é o setor transporte que abrange a vazão dos diversos serviços ofertados e o fluxo de pessoas na cidade. O setor transporte, por sua vez, é o setor que mais consumiu energia, 60% da energia total de Porto Alegre, em 2014. Dentro deste, o subsetor rodoviário sozinho foi responsável por 77,4% do consumo do setor transporte e, por 46,4% do consumo final de energia no município, no mesmo ano. A frota do setor rodoviário é composta majoritariamente por veículos de pequeno porte movidos à gasolina e/ou etanol. Entre os anos 2005 a 2014 a frota cresceu 50%, ou seja, cresceu 13 vezes mais que a população no mesmo período. A relação entre o número de habitantes e a quantidade de veículos na cidade é considerada alta.

Tais dados mostram uma tendência da população para o transporte individual em detrimento ao transporte coletivo. O que contribui para o aumento do congestionamento do trânsito e, consequentemente, para o aumento do consumo de energia dos automóveis. Como averiguado no Plano Diretor de Mobilidade Urbana a malha viária da cidade foi estruturada em 1937 e permanece praticamente da mesma forma até hoje. Há limitações físicas nas avenidas e ruas para a integração de outros modais de transporte, como a faixa exclusiva para ônibus e outra para ciclistas. Também, se observou que ações isoladas são tomadas sem pensar o planejamento viário como um todo. Como exemplo, a implementação de ciclofaixas sem nenhum integração a outros modos de transporte. Tem-se, portanto, uma necessidade de elaborar um planejamento sério que integre o plano viário ao planejamento do transporte coletivo e das ciclofaixas.

Os outros setores que mais consumiram energia, em Porto Alegre, foram o setor residencial e o setor comercial, cada um foi responsável por 15,9% e 14,9%, respectivamente, do consumo total de energia. Levando em conta apenas o consumo de eletricidade total de Porto Alegre, em 2014, estes foram os setores que mais a consumiram eletricidade. O setor comercial foi

responsável por 44,3% e, o setor residencial por 36,0%, da demanda final de eletricidade. Juntos estes setores consumiram 80% de toda a demanda de eletricidade do município.

Em relação ao setor residencial, é interessante salientar que, no período estudado neste trabalho, a demanda somente de eletricidade aumentou seis vezes mais que o número de habitantes da cidade. Ao mesmo tempo, o número de domicílios aumentou 14%. No sentindo oposto, o número de habitantes por domicílio reduziu em aproximadamente 8,8%. Deste modo, evidencia-se que o consumo não apenas aumentou pelo maior número de domicílios, mas, porque, os habitantes individualmente estão consumindo mais. No setor comercial o consumo de energia também cresceu nos 10 anos pesquisados. Contudo, a taxas menores que o VAB do setor e do que o número de estabelecimentos registrados na PMPA. Isto pode indicar um aumento da eficiência no uso da energia do setor. Por exemplo, através do uso de equipamentos mais eficientes, como as lâmpadas LED.

Na última etapa desta análise integrada do sistema energético de Porto Alegre fez-se uma avaliação do potencial de aproveitamento do recurso solar para produção de eletricidade em três etapas distintas. Cada uma das etapas possui uma função específica. O primeiro levantamento averiguou o potencial teórico para o aproveitamento da radiação solar sob o território de Porto Alegre. Este potencial não considera as limitações técnicas dos equipamentos existentes atualmente e nem as limitações físicas da região estudada. A partir da avaliação deste potencial foi possível determinar um potencial teórico de 637 GWp de potência proveniente da irradiação solar. Além deste, também foram determinados um potencial de produção de eletricidade de 2.549 GWh/ano (considerando todo o território da cidade) e, um de 772 GWh (considerando apenas o território construído de Porto Alegre, aproximadamente, 30% da cidade).

No entanto, há muitas variáveis e limitações que influenciam na transformação do recurso solar em eletricidade. Para tanto, o potencial técnico avaliou a produção de eletricidade considerando três variáveis distintas. A primeira variável (tecnológica) considerou o uso de células fotovoltaicas de silício cristalino. A segunda variável (de sistema) considerou os módulos instalados sob o telhado da edificação. A terceira variável (física) considerou 3 regiões diferentes do município. Os resultados da simulação considerando todas estas variáveis mostraram que a região central da cidade foi a que apresentou maiores perdas na produção de eletricidade. As perdas ocorreram, principalmente, devido a posição solar da instalação, comprometida pela própria característica construtiva da edificação e pelo

sombreamento das edificações no horizonte da instalação. Nas demais regiões as diferenças foram insignificantes, pois as perdas do sistema foram consideradas dentro da média dos sistemas fotovoltaicos existentes, hoje, no mercado. Para obter uma noção mais abrangente sobre o potencial de produção de eletricidade considerou-se que todos os consumidores residenciais e comerciais produzissem sua própria energia. Se isto ocorresse poderiam ser gerados 2.892 GWh por ano em Porto Alegre, a partir de módulos fotovoltaicos instalados nos telhados. Essa energia seria capaz de suprir 75,8% de toda a demanda de eletricidade da cidade.

Por último, fez-se uma análise do potencial realizável da instalação de sistemas fotovoltaicos em diferentes pontos da cidade. Foram consideradas duas configurações distintas, uma para um consumidor residencial e outra para um consumidor comercial. Nesta etapa, os dados do BEM, foram fundamentais para sua realização, pois a partir dos dados de consumo de energia por domicílio foi possível estimar a potência instalada dos sistemas fotovoltaicos. A partir destes dados o potencial realizável considerou um sistema de 1,8kWp para o consumidor residencial e, um de 15kWp, para o consumidor comercial.

De forma geral, os resultados mostraram que as três avaliações realizadas para o consumidor comercial apresentaram maiores vantagens econômicas sobre as avaliações realizadas para o consumidor residencial. A principal razão para a desvantagem econômica para o consumidor residencial foi o custo inicial do projeto. Já que, o custo por potência instalada (R$/kWp) foi 68% superior ao custo por potência instalada do sistema dimensionado para o consumidor comercial. Por conseguinte, sistemas com maior custo inicial necessitam de um tempo maior para obter o retorno do investimento. Fato que, também influencia negativamente no VPL do investimento inicial realizado e na atratividade de todo o investimento. Ainda assim, se levado em conta apenas o payback como critério sobre o investimento todos os sistemas avaliados são considerados viáveis, independentemente, do local da instalação e do dimensionamento do sistema.

Resumidamente, evidencia-se que os resultados obtidos nas três etapas da metodologia desenvolvida se complementam. Além do mais, permitiram uma análise integrada sobre o sistema energético de Porto Alegre. A caracterização do município possibilitou agregar os principais aspectos sociais aos dados de consumo de energia, proporcionando uma compreensão aprofundada sobre o uso da energia naquele local. Ao mesmo tempo, a caracterização e a análise da demanda auxiliaram na elaboração da avaliação do potencial

técnico e realizável, comprovando a importância de uma análise integrada sobre os sistemas energéticos urbanos.

A partir desta visão abrangente obtida neste capítulo foi possível realizar as seguintes observações e/ou sugestões aos tomadores de decisão municipal:

- Integrar o planejamento energético ao planejamento urbano e ao de mobilidade urbana a partir de uma comissão liderada por pessoas desvinculadas de uma secretaria municipal;
- Manter uma equipe, por exemplo, através de uma parceria com universidades locais que continue os estudos sobre uso da energia na cidade atualizando os dados mensalmente ou anualmente, a fim de averiguar a eficiência das ações adotadas, bem como, realizar novas projeções e prognósticos;
- Estimular a produção de energia descentralizada tanto no setor residencial quanto no comercial. Considerando que os incentivos financeiros tendem a ser mais efetivos sugere-se a redução de um percentual do IPTU para aqueles que optarem por gerarem a sua própria energia a partir de fonte renovável;
- Estimular, através da redução de um percentual do IPTU ou de um sistema de premiação, àqueles com melhor desempenho na adoção de técnicas construtivas nas edificações, principalmente no setor comercial, que reduzam o consumo de energia e/ou proporcione melhor qualidade de vida aos seus usuários;
- Manter uma estação de análise da qualidade do ar nas regiões com tráfego mais intenso da cidade;
- Estimular empreendedores locais do setor energético a participarem das resoluções municipais através de parcerias público-privadas.

Por fim, é importante salientar que todas as informações levantadas nesse capítulo também podem servir como base para muitas outras análises, projeções e prognósticos.

5 CONCLUSÕES

Analisar o uso da energia em um sistema energético urbano ou, em outras palavras, compreender os fluxos de energia sob uma perspectiva local foi a principal função deste trabalho, sob a premissa de que quanto maior a compreensão do que está ocorrendo melhor serão administrados os recursos energéticos nas cidades. A principal ferramenta usada foi integrar informações de um determinado sistema energético e conferir uma análise crítica sob os resultados. Resultados estes que poderão servir de base para futuras análises, projeções e planos de ação na esfera municipal e/ou local.

Este trabalho, no entanto, está limitado pelas informações disponíveis sobre o uso da energia nas cidades e pela limitação tecnológica, principalmente, de softwares capazes de processar todos os dados e analisá-los de forma integrada. Por esta razão a autora tomou a liberdade de estabelecer uma metodologia para analisar o sistema energético urbano baseada nas ferramentas, dados e informações disponíveis, bem como, em trabalhos já realizados anteriormente.

Na primeira parte desse trabalho dissertou-se sobre os principais motivadores e sobre os elementos por trás da importância de se estudar o uso da energia nas cidades. Temas pertinentes como a crise energética (que não chega a ser uma crise iminente, por assim dizer, mas, uma crise de conscientização sobre como está a relação das atividades humanas com a energia consumida e, ao mesmo tempo, com o ambiente que vivemos) foram abordados. Como saída muitos autores apontaram uma transição energética iminente em que se usará energia de forma mais descentralizada e a partir de fontes menos poluentes. Porém, no final, observam que de nada adianta as melhores tecnologias de produção ou de eficiência energética se as pessoas não optarem por fazer a transição também. Dessa forma, retoma-se ao ponto levantado no início, a importância da compreensão do sistema energético.

As cidades entram nessa questão como ponto de convergência e, simultaneamente, de divergência da equação ambiental. Ponto de convergência por ser atualmente nas cidades onde se centralizam os maiores fluxos de energia, dinheiro, atividade cultural e inúmeros serviços, como um grande organismo. E, de divergência, por concentrar o consumo de massivas quantidades de recursos naturais influenciando todo o sistema ecológico local e

global. Tal perspectiva coloca o foco nas cidades demostrando que o mais factível é começar a transição por onde se consome a maior quantidade de recursos naturais.

Lançando luz sobre as cidades se iluminou outro ponto importante, porém pouco explorado: o planejamento urbano de uma cidade pode influenciar fortemente a direção e a intensidade dos fluxos energéticos e os resíduos gerados em uma cidade. Dessa forma, constatou-se que integrar o planejamento energético ao urbano é uma ferramenta importante para o desenvolvimento de cidades mais inteligentes. Como opção viável, o planejamento energético descentralizado explora as sinergias entre as metas de projeto urbano para cidades mais habitáveis e as metas de planejamento de produção e de conservação de energia na esfera local. Contudo, a fim de alcançar uma coordenação ótima dos aspectos energéticos em um sistema muito complexo, como o de uma cidade, não só a identificação de seus elementos físicos devem ser explorados, mas, também as relações implícitas entre eles. Daí, a importância de se estudar o sistema energético de forma integrada, isto é, incluindo nas suas análises, tanto da demanda quanto da oferta de energia, as variáveis socioeconômicas, ambientais, regulatórias e entre outras.

Em seguida, abordou-se nessa pesquisa aspectos do sistema energético urbano, buscando esmiuçar em que partes da cidade o uso da energia está presente. Para depois, mostrar como se pode analisar o uso da energia nas cidades tanto pelo lado da demanda quanto pelo lado da oferta. Trata-se dos modelos usados que auxiliam no entendimento da questão. Dentre deste assunto foi evidenciado as diferentes abordagens dos modelos utilizados, suas vantagens e desvantagens e, também, os principais aspectos dos modelos usados para analisar sistemas energéticos urbanos, dos modelos utilizados para analisar a demanda de energia e dos modelos usados para analisar a oferta da energia.

A partir dessa revisão foi possível constatar que todos os modelos são insuficientes e possuem diferentes limitações deve-se, no entanto, escolher o modelo que melhor se adapta as necessidades da análise a ser realizada. Como no caso deste trabalho, o modelo adotado para analisar a demanda de energia, o balanço energético, mesmo sendo um modelo simples foi adotado por ser um modelo amplamente utilizado e por haver dados confiáveis disponíveis. Além de, exigir poucos recursos tanto financeiros quanto tecnológicos. Justamente por essas características o balanço energético é considerado o modelo ideal para ser usado em países em desenvolvimento.

Os resultados do balanço primeiramente mostraram um mapa do consumo de energia final da cidade de Porto Alegre desde 2005 até 2014. Esse mapa indicou quais as fontes e quais setores da economia consumiram mais energia no período delimitado. Em seguida, a partir dos dados dos dez anos de balanços realizados foi possível analisar tanto o perfil energético do município quanto a evolução do seu consumo. Nesse período o consumo de energia cresceu oito vezes mais que o aumento populacional e menos que a metade do PIB da cidade de Porto Alegre. Estes dados demonstram que o uso da energia é mais complexo do que apenas uma simples equação de multiplicar a quantidade de pessoas ou PIB pelo consumo. Também, se observou a partir do balanço energético municipal, que o setor transporte foi responsável pelo consumo de quase dois terços de toda a energia consumida na cidade e as fontes consumidas nesse setor são majoritariamente provenientes dos combustíveis fósseis, como: gasolina, querosene e óleo diesel. Porém, a fonte energética mais consumida em 2014 foi a eletricidade, 28,1% do consumo final, e o consumo de eletricidade per capita é considerado alto, 2,58 MWh/per capita, se igualando ao do Brasil e ao de alguns países desenvolvidos.

No caso da avaliação do potencial da oferta de energia não se utilizou um modelo único, mas três diferentes métodos para analisar cada um dos tipos de potencial: o potencial teórico, o potencial técnico e o potencial realizável. Cada um com a função de levantar um dado importante sobre o recurso solar disponível na cidade. Demonstrando tanto a potencialidade quanto as limitações do uso do recurso solar no meio urbano. Como observado na simulação realizada, a produção de energia na região central da cidade foi 49% inferior à produção de energia da região que apresentou o maior potencial, a região sul da cidade. Contudo, o desempenho do sistema fotovoltaico, independente das características do local em que está instalada, foi apenas 4,7% inferior. Esta limitação não chegou a inviabilizar o projeto solar fotovoltaico na região, uma vez que, nas três análises financeiras realizadas os paybacks foram menores do que o tempo do projeto, logo, demostram que os projetos devem ser analisados com mais cautela na região e, talvez, em alguns locais possam ser realmente inviáveis devido à configuração tanto construtiva da edificação quanto das edificações vizinhas.

Além destas constatações verificou-se que, para o consumidor comercial, há mais vantagens para implementar um sistema de produção de energia solar do que para um consumidor residencial, como: retorno do investimento em até oito anos (nas regiões norte e sul) e VPL positivo (considerando taxas menos ou iguais a 12%). Todavia, esta análise é exclusivamente

financeira. Há outros fatores que podem ser levados em conta na hora de optar pela microgeração de energia.

De forma integrada esta investigação analisou as características do município, os dados da demanda de energia e o potencial de oferta de energia solar fotovoltaica da cidade de Porto Alegre. Perscrutando, através do entrelaçamento das três etapas da metodologia de análise, dados diversos para assim construir um panorama mais completo sobre o sistema energético da cidade. Ressaltando que o tema, uso da energia nas cidades, é complexo e está começando a ser desvelado pela academia. Dessa forma, se reconhece que as reflexões aqui desenvolvidas estão distantes de serem esgotadas.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

O tema abordado nessa pesquisa está em pleno desenvolvimento na academia internacional; no Brasil, contudo, ainda está tímida a abordagem sobre sistemas energéticos urbanos. Soma-se a isso a complexidade do tema e as inúmeras abordagens e métodos que podem ser utilizadas para analisar o assunto em voga. Há, portanto, uma gama de trabalhos que poderão ser desenvolvidos a partir do que foi apresentado nessa dissertação, como, por exemplo:

- Realizar projeções e prognósticos para o consumo de energia nos próximos anos a partir dos dados do BEM;
- Mapear o consumo de energia final e por fonte de energia por bairro;
- Desenvolver um banco de dados com os dados do consumo de energia do município para atualizá-lo anualmente;
- Fazer o levantamento do potencial de energia solar para sistemas fotovoltaicos integrados à fachada de edificações;
- Fazer o levantamento do potencial de outros recursos renováveis para a cidade de Porto Alegre, como: energia eólica, biomassa e geotérmica;
- Avaliar as emissões antrópicas de gases, principalmente daqueles que causam danos à saúde das pessoas, na região central da cidade;
- Realizar simulações para diferentes configurações urbanas e o efeito no consumo de energia final, bem como, das emissões de gases antrópicos;

- Analisar o uso da energia em outras cidades tanto do estado do Rio Grande do Sul quanto do Brasil;
- Desenvolver um software que analise de forma integrada os diferentes aspectos do uso da energia em sistemas energéticos urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, G.M.R. VIAJUS. **Plano diretor do município de Porto Alegre e participação popular**. Disponível em: <http://www.viajus.com.br/viajus.php?pagina=artigos&id=1562&idAreaSel=13&seeArt=ye>. Acesso em: 07 dez. 2015.

ADAM, K. et al. Methodologies for city-scale assessment of renewable energy generation potential to inform strategic energy infrastructure investment. **Cities**, v. 54, p. 45–56, 2016.

ADAMS, R. N. **Energy and Structure**. Austin: Univ. Tex. Press, 1975.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica - 3ª Edição**. 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>. Acesso em: 12 out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. Brasília : ANEEL, 2016a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração distribuída amplia número de conexões em 2015**. Informações técnicas. 2016b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9044&id_area=90>. Acesso em: 08 de dez. de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Registro de micro e mini geradores distribuídos. **Geração Distribuída**. 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=RS&pagina=1>. Acesso em: 09 jan. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Perdas de energia**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>. Acesso em: 29 de nov. de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim Anual de Preços 2015: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional**. Rio de Janeiro : ANP, 2015.

AMARANTE, O. A. C., et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília : CRESESB, 2001.

ANDRADE, I.R.A. **O Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Identificação de Formas na Região de Porto Rico, Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, MS/PR**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Maringá, 2008. Disponível em: <http://www.pge.uem.br/pdf/iraandrade.pdf>. Acesso em: abr. 2010.

ARAÚJO, K. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. **Energy Research & Social Science**, v. 1, p. 112–121, 2014.

ARNOLD, M.; BARTH, V. Open innovation in urban energy systems. **Energy Efficiency**, v. 5, n. 3, p. 351–364, 2012.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO DO BRASIL. **Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/porto-alegre_rs>. Acesso em: 02 fev. 2016.

AZZOLIN, H. N.; CANHA, L. N. **O Mapeamento do Potencial Energético de Geração Distribuída como Suporte ao Planejamento da Distribuição**. In: CIDEL Argentina, p. 1-6, 2014.

BAITELO, Ricardo. **A caminho da sustentabilidade energética: como desenvolver um mercado de renováveis no Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2008/5/a-caminho-da-sustentabilidade.pdf >. Acesso em: 25 jan. 2016.

BAJAY, S. V. Planejamento energético: Necessidade, objetivo e metodologia. **Revista Brasileira de Energia**, v. 1, n. II, p. 1-6, 1989.

BENITES, Vagner. **Porto Alegre assume o compromisso para criação de políticas de mudanças climáticas**. In: Desafio Porto Alegre Resiliente. 2016. Disponível em: <http://portoalegreresiliente.org/porto-alegre-assume-compromisso-para-criacao-de-politica-de-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 17 mai. 2016.

BERMANN, Célio. **Energia no Brasil: para quê? para quem?** 2ª. São Paulo : Livraria da Física, 2001.

BETSILL, M.; BULKELEY, H. Looking Back and Thinking Ahead: A Decade of Cities and Climate Change Research. **Local Environment**, v. 12, n. 5, p. 447–456, 2007.

BHATIA, S.C. **Advanced Renewable Energy Systems**. 2014. Woodhead Publishing PVT LTD. New Delhi. 2014.

BHATTACHARYYA, S. C.; TIMILSINA, G. R. A review of energy system models. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 4, n. 4, p. 494–518, 2010.

BLANCO, H.; ALBERTI, M., et al. Shaken, shrinking, hot, impoverished and informal: Emerging research agendas in planning. **Progress in Planning**, v.72, n.4, p. 195-250, 2009.

BOLLEN, J. et al. Local air pollution and global climate change: A combined cost-benefit analysis. **Resource and Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 161–181, 2009.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Lei nº. 10.257, de 10 de julho de 2001. Brasília, DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Matriz energética nacional 2030. Brasília : EPE, 2007.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Anuário Estatístico 2008. 2009. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/imprensa/anuario2008.asp>. Acesso em: 04 dez. 2016.

BRASIL. Ministério Meio Ambiente. 1º Inventário de Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2011a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf >. Acesso em: 28 Janeiro 2016.

BRASIL. INFRAERO. Anuário estatístico operacional 2010. 2011b. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/final.pdf.>. Acesso em: 02 dez. 2016.

BRASIL. Programa Nacional da racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural (CONPET). CONPET. 2012. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml.>. Acesso em: 08 dez. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília : s.n., 2014a.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Consumo de energia no Brasil: análises setoriais. Brasília : EPE, 2014b.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014. Rio de Janeiro : EPE, 2015a.

BRASIL. **Conheça 12 importantes ações do Brasil em favor do clima**. Portal Brasil. 2015b. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/Conheca-12-importantes-acoes-do-brasil-em-favor-do-clima >. Acesso em: 08 nov. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. 2015c.

BRASIL. INFRAERO. Anuário Estatístico Operacional 2014. 2015d. Disponível em: < http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/anuario_2014.pdf >. Acesso em: 02 de dez. de 2016.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros**. Acesso à informação. 2016. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/home>. Acesso em: 04 out. 2016.

BRAUN-GRABOLLE, Priscila. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. 2010. 260f. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BRISTOT, A.; ADAMS, R.I. Planejamento energético municipal: uma proposta para os municípios do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Energia,** v.1, n.2, 1990.

BROWNSWORD, R. A. et al. Sustainable cities - Modelling urban energy supply and demand. **Applied Energy**, v. 82, n. 2, p. 167–180, 2005.

BURANI, G. F. et al. O cenário dos recursos energéticos distribuídos no Estado de São Paulo. In: **5th Encontro de Energia no Meio Rural**, n. 5, 2004.

BUTERA, F. **Towards the Renewable Built Environment**. In. DROEGE, P. Urban Energy Transition. s.l. : Elsevier, 2011.

CAJOT, S. et al. Energy Planning in the Urban Context: Challenges and Perspectives. In: **6th International Building Physics Conference**, IBPC 2015, v. 78, p. 3366–3371, 2015.

CALVILLO, C. F.; VILLAR, J. Energy management and planning in smart cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 273–287, 2016.

CAMPOS, I. M. **O que é retrofit?** Fórum da construção. s.d. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=22&Cod=60>[Acesso em: 01 dez. 2016.

CAPELETTO, G. J.; MOURA, G. H. Z. Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2011: ano base 2010. Porto Alegre: Grupo CEEE / Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Rio Grande do Sul, 2011. 192 p.

CAPELETTO, G. J.; MOURA, G. H. Z. Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2015: ano base 2014. Porto Alegre: Grupo CEEE / Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Rio Grande do Sul, 2015.

CEEE. Dados Eletricidade; Dados Derivados do Petróleo de Porto Alegre. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <weber.nati@gmail.com>. Acesso em: 12 dez. 2015.

CETESB. Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos. 2011. Disponível em: <http://inventariogeesp.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/30/2014/01/Primeiro_Inventario_GEE_WEB_Segunda-Edicao-v1.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2016.

CGPEM. Relatório CGPEM 2014. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nataliaw@usp.br>. Acesso em: 26 nov. 2016.

CHOAY, F. 1996. **Destinos da cidade européia: séculos XIX e XX**. Revista de Urbanismo e Arquitetura. 1996. Disponível em: <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/rua/article/view/3110>. Acesso em: 14 dez. 2015.

CLANCY, J. et al. Exploring the transition potential of renewable energy communities. **Urban Energy Transition**, v. 66, p. 533–562, 2008.

COELHO, S. T., et al. 2005. Atlas de Bioenergia do Brasil. São Paulo : CENBIO, 2005.

COHEN-ROSENTHAL, E.; MUSNIKOW, J. **Eco-industrial strategies: unleashing synergy between economic development and the environment**. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing Limited, 2003.

COLLAÇO, F. M. A.; BERMANN, C. 2015. A Gestão Energética Descentralizada em âmbito municipal no Brasil . In: **10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio**

Rural. AGRENER. 2015.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida. **Planejamento e políticas públicas: uma análise sobre a gestão energética descentralizada em âmbito municipal no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

COTTRELL, F. 1955. **Energy and Society**. New York: McGraw-Hill.

COVENANT OF MAYORS. The Covenant of Mayors going global. **Covenant of Mayors for Climate & Energy**. 2016. Disponível em: <http://www.covenantofmayors.eu/The-Covenant-of-Mayors-going,2332.html >. Acesso em: 28 nov. 2016.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Potencial Solar - SunData**. 2016. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 06 set. 2016.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Radiação Solar**. 2008. Disponível em: < http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=301>. Acesso em: 03 abr. 2017.

DAVIS, Kingsley. The Origin and Growth of Urbanization in the World. American **Journal of Sociology**, Vol. 60, pp. 429-437, 1955.

DEBONO, Edward. 2010. **Six thinking hats**. Londres : Penguin, 2010.

DIAS, T.S.; MOURA, N.S.V. 2012. A expansão urbana sobre o relevo do município de Porto Alegre - RS. In: **9º Simpósio Nacional de Geoorfologia. Geomorfologia e Eventos Catastróficos**, 2012.

ENERDATA. CO2 emissions from fuel combustion. Global Energy Statistical Yearbook 2016. 2016. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/CO2-emissions-data-from-fuel-combustion.html#CO2-emissions-data-from-fuel-combustion.html >. Acesso em: 08 nov. 2016.

FARR, D. **Urbanismo sustentável: desenho urbano com a natureza**. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre : Bookman, 2013.

FARZANEH, H.; DOLL, C. N. H.; PUPPIM DE OLIVEIRA, J. A. An integrated supply-demand model for the optimization of energy flow in the urban system. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 269–285, 2016.

FERREIRA, G.F.; COSTA, A.P.R.; CANDEIAS, A.L.B. Análise comparativa de Modelos Digitais de Elevação. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p. 2324-2330, 2011.

FLOATER, G.; RODE, P. Steering Urban Growth: Governance, Policy and Finance. **New Climate Economy Cities Paper**, n. 02, p. 1–49, 2014.

FRAGA, Rafaella. **Com aumento de frota, Porto Alegre tem 1 veículo para cada 1,8 habitante**. G1. 02 mai. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/transito/noticia/2014/05/com-aumento-de-frota-porto-alegre-tem-1-veiculo-para-cada-18-

habitante.html >. Acesso em: 20 mai. 2016.

FRI, R. W.; SAVITZ, M. L. Rethinking energy innovation and social science. **Energy Research and Social Science**, v. 1, p. 183–187, 2014.

FUNDAÇÃO DE APOIO DA UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE DO SUL. Diagnóstico Ambiental do Município de Porto Alegre. Porto Alegre : FAURGS, 2004.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **FEE dados abertos**. 2016a. Disponível em: <http://feedados.fee.tche.br/feedados/#!pesquisa=0>. Acesso em: 03 fev. 2016.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSCA. **Série Histórica – 2016**. 2016b. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/pib-rs/municipal/serie-historica/.>. Acesso em: 19 out. 2016.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **PIB RS**. Indicadores estaduais. 2016c. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/pib-rs/estadual/destaques/>. Acesso em: 19 out. 2016.

GAGO, E. J. et al. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 749–758, 2013.

GaWC. Globalization and World Cities Research Network. The World According to GaWC 2010. 2010. Disponível em: <http://www.lboro.ac.uk/gawc/world2010t.html>. Acesso em: 02 fev. 2016.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, Mass: Harvard Univ. Press, 1971.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **Energy and Economic Myths**. New York: Pergamon, 1976.

GERHARDT, T.E., et al. **Métodos de pesquisa**. 1º. Porto Alegre : UFRGS, 2009.

GIZ; ICLEI. **Operationalizing the Urban NEXUS**. 2014. Disponível em: <http://www.iclei.org/urbannexus.html >. Acesso em: 26 nov. 2016.

GOOGLE. Google Earth. Versão 7.1.7.2606. 2016. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.google.com/earth/download/ge/agree.html>. Acesso em: 13 set. 2016.

GOUVEIA, N. et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metropóles brasileiras. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 12, n. 1, p. 29–40, 2003.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO, MOBILIDADE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Atlas sócioecônomico do Rio Grande do Sul**. s.d. Disponível em: <http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=818&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1470>. Acesso em: 12 dez. 2016.

GREWAL, P. S.; GREWAL, P. S. Can cities become self-reliant in energy? A technological scenario analysis for Cleveland, Ohio. **Cities**, v. 31, p. 404–411, 2013.

GRUBLER, A., et al.. Bai et al. **Urban Energy Systems**. In: Global Energy Assessment -

Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, p. 1307-1400, 2012.

HAMMER, S. A. et al. **Climate change and urban energy systems**. In: Rosenzweig, W. D.; Solecki, S. A.; Hammer, S.; Mehrotra, Eds. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 85–111, 2011.

HASENACK, H. Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação, ocupação e paisagem. Porto Alegre : Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008.

HASENACK, H. **Influência das variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre, RS**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989.

HIREMATH, R. B. et al. Bottom-up approach for decentralised energy planning: Case study of Tumkur district in India. **Energy Policy**, v. 38, n. 2, p. 862–874, 2010.

HIREMATH, R. B.; SHIKHA, S.; RAVINDRANATH, N. H. Decentralized energy planning; modeling and application-a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 5, p. 729–752, 2007.

HODGE, G.; GORDON, D. **Planning canadian communities: an introduction to the principles, practices, and participants**. 5th Edition. Toronto: Thomson Nelson, 2008.

HOFFMAN, K. C.; WOOD, D. O. Energy system modeling and forecasting. **Annu. Rev. Energy**. v.1, p. 423-453, 1976.

HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612–617, 2014.

HOOGWIJK, M.; DE VRIES, B.; TURKENBURG, W. Assessment of the global and regional geographical, technical and economic potential of onshore wind energy. **Energy Economics**, v. 26, n.5, p.889-919, 2004.

HUANG, Z. et al. Methods and tools for community energy planning: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, n. 4800, p. 1335–1348, 2015.

ICLEI. s.d.. **ICLEI - Local Governments for Sustainability**. s.d. Disponível em: <http://sams.iclei.org/quem-somos/o-iclei.html >. Acesso em: 28 nov. 2016.

ICLEI; UN-HABITAT. **Sustainable urban energy planning: a handbook for cities and towns in developing countries**. s.l. : UNEP, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Orçamentos Familiares**. SIDRA. 2008. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=676&z=p&o=14&i=P >. Acesso em: 29 nov. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE**. 2016a. Disponível em: <http://cnae.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/atividades-economicas/classificacao-nacional-de-atividades-economicas >. Acesso em: 06 fev. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2016b. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431490>. Acesso em: 18 mai. 2016.

INSTITUTO BRASILEITO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acesso em: 18 jul. 2015.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. Mapping the Energy Future: Energy Modelling and Climate Change Policy. Energy and Environment Policy Analysis Series. Paris, France, 1998.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. Cities, Towns & Renewable Energy: yes, in my front yard. Paris : OECD/IEA, 2009.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. A Tale of Renewed Cities: A policy guide on how to transform cities by improving energy efficiency in urban transport systems. Paris : IEA/OECD, 2013.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. IEA Energy Atlas. 2016. Disponível em: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/1>. Acesso em: 2016 dez. 2016.

JACCARD, M.; FAILING, L.; BERRY, T. From equipment to infrastructure: community energy management and greenhouse gas emission reduction. **Energy Policy**, v. 25, n. 13, p. 1065–1074, 1997.

JANUZZI, Gilberto de Martino. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis**. Editora Autores Associados, 1997. Campinas-SP. 233p.

JEBARAJ, S.; INIYAN, S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 4, p. 281–311, 2006.

JOHNSTON, David. A **physically based energy and carbon dioxide emission model of the UK housing stock**. 2003. Tese (Doutorado em filosofia) - Leeds Metropolitan University, UK, 2003.

KEIRSTEAD, J.; JENNINGS, M.; SIVAKUMAR, A. A review of urban energy system models : Approaches , challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3847–3866, 2012a.

KEIRSTEAD, J.; JENNINGS, M.; SIVAKUMAR, A. A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3847–3866, 2012b.

KEIRSTEAD, J.; SAMSATLI, N.; SHAH, N. Syncity: an integrated tool kit for urban energy systems modelling. Energy efficient cities: assessment tools and benchmarking practices, p.

21, 2010.

KLUG, L.; MARENGO, J. A.; LUEDEMANN, G. **Mudanças climáticas e os desafios brasileiros para implementação da nova agenda urbana**. In. COSTA, M. A.. O Estatuto da Cidade e a Habitat III : um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a nova agenda urbana. s.l. : IPEA, 2016.

KNIJNIK, R.; LOSS, J. E. **Aspectos preliminares: os paradigmas para o ano 2000, as premissas utilizadas e a evolução urbana de Porto Alegre**. In. KNIJNIK, Roberto. Energia e Meio Ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento. Porto Alegre : DMAE, 1994.

KNIJNIK, R.; PROTTI, R. M.; LOSS, J. E. **Balanço energético de Porto Alegre e sua região metropolitana: aspectos sócio-econômicos e ambientais**. In. KNIJNIK, Roberto. Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento. Porto Alegre : DMAE, 1994.

KNIJNIK, Roberto. **Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento**. Porto Alegre : DMAE, 1994.

LAZAROIU, G.C. e ROSCIA, M. Defining methodology for te smart cities model. **Energy**, v. 47, p. 326-332, 2012.

LENHART, J. **Cities & the climate crisis – part of the problem, and the solution**. ELDIS. 2016. Disponível em: <http://www.eldis.org/go/latest-news/news/cities-and-the-climate-crisis--part-of-the-problem-and-the-solution#.WDhZcvkrK00>. Acesso em: 24 nov 2016.

LOVINS, A. B. **Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace**. Cambridge: Ballinger, 1977.

LOVINS, A. B. **Reiventando o fogo: soluções ousadas de negócios na nova era da energia**. São Paulo : Cultrix, 2013.

MADLENER, R.; SUNAK, Y. Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? **Sustainable Cities and Society**, v. 1, n. 1, p. 45–53, 2011.

MARINAKIS, V. et al. Multicriteria decision support in local energy planning: An evaluation of alternative Scenarios for the Sustainable Energy Action Plan. **Omega**, p. 1–17, 2016.

MARINS, K.R.C.C.; ROMÉRO, M. A. Integração de condicionantes de morfologia urbana no desenvolvimento de metodologia para planejamento energético urbano. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 117-137, 2012.

MARTINS, Thatiane Agra de Lemos. **De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano: otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto de clima tropical.** 2014. 393f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Programa de Pós graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MCCORMICK, K. 2016. **Sustainable Urban Transformation**. Coursera. 2016. Disponível em: <https://www.coursera.org/learn/gte-sustainable-cities/lecture/hbCx5/sustainable-urban-transformation >. Acesso em: 04 jan. 2017.

MCLELLAN, B. C.; CHAPMAN, A. J.; AOKI, K. Geography, urbanization and lock-in – considerations for sustainable transitions to decentralized energy systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 128, p. 77–96, 2016.

MOSSMANN, Vera, **Estudo do Perfil Energético dos Setores Residencial e Industrial no Município de Caxias do Sul**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,1995.

NAKABAYASHI, Rennyo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

NAKATA, T. Energy-economic models and the environment. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 4, p. 417–475, 2004.

NAKATA, T.; SILVA, D.; RODIONOV, M. Application of energy system models for designing a low-carbon society. **Progress in Energy and Combustion Science**, n. 37, p. 462–502, 2011.

NEVES, A. R.; LEAL, V.; LOURENÇO, J. C. A methodology for sustainable and inclusive local energy planning. **Sustainable Cities and Society**, v. 17, p. 110–121, 2015.

NIEMI, R.; MIKKOLA, J.; LUND, P. D. Urban energy systems with smart multi-carrier energy networks and renewable energy generation. **Renewable Energy**, v. 48, p. 524–536, 2012.

OBSSERVA POA. **A Cidade de Porto Alegre**. 2016a. Disponível em: <http://www.observapoa.com.br/default.php?p_secao=4#Carac_E_Pop, 2016>. Acesso em: 19 mai. 2016.

OBERVA POA. **IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal**. Porto Alegre em Análise. 2016b. [Acesso em: 18 de out. de 2016.]

OBSERVA POA. **Energia elétrica da companhia distribuidora**. Porto Alegre em Análise. 2016c. Disponível em: <http://portoalegreemanalise.procempa.com.br/?analises=5_249_0>. Acesso em: 10 out. 2016.

OLADOKUN, M. G.; ODESOLA, I. A. Household energy consumption and carbon emissions for sustainable cities – A critical review of modelling approaches. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 4, n. 2, p. 231–247, 2015.

ONU-HABITAT. 2012. Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012: rumbo a un nueva transición urbana. Nairobi : ONU-Habitat, 2012.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS LIBERO-AMERICANOS. **PIB e consumo de energia - uma nova relação**. Divulgacion y cultura cientifica iberoamericana. s.d. Disponível em: <http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/reportajes_079.htm >. Acesso em: 11 dez. 2016.

OSTOJIC, D. et al. **Sustainable Urban Eenergy and emissions planning: overview and application in Vietnam**. 2012. Disponível em:

<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1369969101352/Ostojic-et-al.pdf >. Acesso em: 15 dez. 2015.

PALIWAL, P.; PATIDAR, N. P.; NEMA, R. K. Planning of grid integrated distributed generators: A review of technology, objectives and techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 557–570, 2014.

PATUSCO, J. A. M. **Eletricidade no balanço energético nacional – BEN**. 1998. Disponível em: <http://ecen.com/eee11/eletrben.htm>. Acesso em: 12 out. 2015.

PEDROSO, Rodrigo. **Consumo de energia sobe mais que PIB em 2012**. São Paulo : Valor Econômico, 10 jan. 2013.

PEREIRA, E. B., et al. 2006. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos : INPE, 2006.

PEREIRA, Iraci Miranda. **Desenvolvimento de metodologia para planejamento energético integrado ao espaço urbano: um Estudo do setor residencial de Belo Horizonte**. 2010. 195f. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais.

PEREIRA, M. G. et al. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3786–3802, 2012.

PEURA, P. From Malthus to sustainable energy - Theoretical orientations to reforming the energy sector. R**enewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 309–327, 2013.

PIEROBON, Luís Ricardo Pedra. **Análise Energética e Ambiental do Município de Sentinela do Sul**. 1998. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,1998.

PORTO ALEGRE RESILIENTE. **Porto Alegre assume compromisso para criação de Política de Mudanças Climáticas**. 2016. Disponível em: <http://portoalegreresiliente.org/porto-alegre-assume-compromisso-para-criacao-de-politica-de-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 18 mai. 2016.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **(9) Ilhas do Delta do Jacuí**. s.d. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=16&p_secao=46>. Acesso em: 10 out. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Sistema Integrado de Refência Legislativa.** 24 maio 2011. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000031712.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT >. Acesso em: 07 dez. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. SECRETARIA MUNICIPAL DA PRODUÇÃO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Indicadores econômicos de Porto Alegre**. 2013. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smic/usu_doc/indicadores_abril__2013.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO MUNICIPAL. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA). 2014. Disponível em: <http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/pddua.htm >. Acesso em: 08 dez. 2015.

PROCEL. **Lei de Eficiência Energética**. 2014. Disponível em: <www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pd >. Acesso em: 08 dez. 2016.

PROCEL. PROCEL INFO. **Edificações**. s.d. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7D >. Acesso em: 30 nov. 2016.

PROCEL-GEM. **PROCEL GEM - Gestão Energética Municipal**. PROCEL INFO. 2006. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDA732D505C4BE4243A5EE418B85372C4FPTBRIE.htm >. Acesso em: 02 dez. 2016.

RESCH, G. et al. Potentials and prospects for renewable energies at global scale. **Energy Policy**, v. 36, n. 11, p. 4048–4056, 2008.

RIBEIRO, Bruno. **Quatro capitais têm mais trânsito do que SP, diz estudo**. EXAME. 04 de jun. de 2014. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/brasil/quatro-capitais-tem-mais-transito-do-que-sp-diz-estudo/>. Acesso em: 19 mai. 2016.

RIFKIN, J. **A Terceira Revolução Industrial: como o poder lateral está transformando a energia, economia e mundo**. São Paulo : M. Books do Brasil, 2012.

RIZI, Bahareh Toghiani. **Community Energy Planning: State of Practice in Canada**. 2012. 153f. Dissertação (Mestrado em Estudos Ambientais) – Faculdade de Estudos Ambientais da York University, Toronto, Ontario, Canada.

ROSA, E.; MACHLIS, G.; KEATING, K. Energy and Society. **Review Literature and Arts of the Americas**, v. 14, n. 1988, p. 149–172, 1988.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1027–1030, 2011.

RUTHERFORD, J.; COUTARD, O. Urban Energy Transitions: Places, Processes and Politics of Socio-technical Change. **Urban Studies**, v. 51, n. 7, p. 1353–1377, 2014.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 21–38, 2007.

SALAMONI, I. et al. O potencial dos sistemas fotovoltaicos integrados à edificação e interligados à rede elétrica em centros urbanos do brasil : dois estudos de caso. in: **X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 1–15, 2004.

SAMPAIO, H. C.; DIAS, R. A.; BALESTIERI, J. A. P. Sustainable urban energy planning: The case study of a tropical city. **Applied Energy**, v. 104, p. 924–935, 2013.

SANTOS, Arthur Henrique Cursino. **Avaliação técnica e financeira da geração fotovoltaica integrada à fachada de edifícios de escritórios corporativos na cidade de São**

Paulo. 2015. 187 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SANTOS, M. **Por uma economia política da cidade: o caso de São Paulo**. São Paulo : Edusp, 2012.

SANTOS, S. S. dos. Complexas cidades: qual planejamento urbano na perspectiva da teoria da complexidade? In: **Encontros Nacionais da ANPUR**, v. 15, p. 1-17, 2013.

SECRETARIA DE ENERGIA. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Energia Solar Paulista: levantamento de potencial. São Paulo : 2013.

SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO E PROMOÇÃO DOS INVESTIMENTO. Atlas eólido do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2014.

SEMANCO. **Urban Energy System and Models**. Disponível em: <http://arc.housing.salle.url.edu/semanco/kms/index.php/Urban_Energy_System_and_Models#cite_note-rr2-1>. Acesso em: 18 mai. 2016.

SEYFANG, G.; PARK, J. J.; SMITH, A. A thousand flowers blooming? An examination of community energy in the UK. **Energy Policy**, v. 61, p. 977–989, 2013.

SHUKLA, A. K.; SUDHAKAR, K.; BAREDAR, P. Simulation and performance analysis of 110 kWp grid-connected photovoltaic system for residential building in India: A comparative analysis of various PV technology. **Energy Reports**, v. 2, p. 82–88, 2016.

SILVA, M.V. M; BERMANN, C. O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural. In: **Encontro de Energia no Meio Rural**, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200034&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 15 jul. 2014.

SOARES, P.R.R., et al. **Região Metropolitana de Porto Alegre: reestruturação produtiva, mercado de trabalho e espaços industriais**. In: FEDOZZI, J.; SOARES, P. R. R. Porto Alegre: transformações na ordem urbana. Rio de Janeiro : Letra Capital:Observatório das Metrópoles, 2015.

SOLARGIS. **pvPlanner**. 2016a. Disponível em: <http://solargis.info/doc/pvplanner/>. Acesso em: 18 ago. 2016.

SOLARGIS. **pvPlanner tech specs**. 2016b. Disponível em: <http://solargis.com/products/pvplanner/tech-specs/>. Acesso em: 10 ago. 2016.

SULGAS. Dados consumo do GN e GNV em Porto Alegre [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <nataliaw@usp.br> Acesso em: 04 abr. 2016.

TAN, W. S. et al. Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 18, p. 626–645, 2013.

TARIGAN, E.; DJUWARI; PURBA, L. Assessment of PV power generation for household in surabaya using solarGIS-pvplanner simulation. **Energy Procedia**, v. 47, p. 85–93, 2014.

THEO, W. L. et al. Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 531–573, 2017.

TODOC, J. L. **Integrating Energy in Urban Planning in the Philippines and Vietnam**. In:DROEGE, P. Urban Energy Transition. s.l.: Elsevier, 2008.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeio : EPE, 2016.

TOVAR-PESCADOR, J. et al. On the use of the digital elevation model to estimate the solar radiation in areas of complex topography. **Meteorol. Appl.**, v. 12, p. 279-287, 2006.

TRANSITION NETWORK. **The essential guide to doing Transition**. Transition Network. 2016. Disponível em: <http://transitionnetwork.org/resources/essential-guide-transition/.>. Acesso em: 28 nov. 2016.

TURNER, W. J. N.; KINNANE, O.; BASU, B. Demand-side characterization of the Smart City for energy modelling. **Energy Procedia**, v. 62, n. 0, p. 160–169, 2014.

TWEED, C.; JONES, P. The role of models in arguments about urban sustainability. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 3, v. 20, p. 277-287, 2000.

UNEP-SBCI. United Nations Environment Programme Building and Climate Initiative. **Why Buildings.** 2016. Disponível em: <http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp >. Acesso em: 30 nov. 2016.

UN-HABITAT. UN-HABITAT for better urban future.**The Future We Want. The City We Need**. 2015. Disponível em: <http://unhabitat.org/the-future-we-want-the-city-we-need/>. Acesso em: 19 dez. 2016.

UNITED NATIONS. World Urbanization prospects: the 2007 revision population database. 2008. Disponível em: <http://esa.un.org/unup/>. Acesso em: 02 fev. 2016.

UNITED NATIONS. **Percentage urban and urban agglomerations by size class**. 2014. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wup/Maps/CityDistribution/CityPopulation/2014_City_Urban_high.png >. Acesso em: 19 jan. 2016.

UNITED NATIONS. World Urbanization Prospects. 2014. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf >. Acesso em: 19 jan. 2016.

WANDER, Paulo Roberto. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energias renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

WEBER, Natália de Assis Brasil. **Levantamento e análise de dados para diagnóstico energético do município de Novo Hamburgo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia em Energia) Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2014.

WHITE, L. **The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome**. New York: McGraw-Hill, 1 959.

WIKIMEDIA. **Mapa dos Bairros de Porto Alegre**. 2014. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mapa_dos_Bairros_de_Porto_Alegre.png >. Acesso em: 22 out. 2016.

WIKIPEDIA. **Porto Alegre no mapa**. 2006. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:RioGrandedoSul_Municip_PortoAlegre.svg >. Acesso em: 22 out. 2016.

WIKIPEDIA. **Leapfrogging**. 2015a. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Leapfrogging >. Acesso em: 12 jul. 2016.

WIKIPEDIA. **Valor acrescentado bruto.** 2015b. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Valor_acrescentado_bruto >. Acesso em: 30 out. 2016.

WIKIPEDIA. **Porto Alegre**. 2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Porto_Alegre >. Acesso em: 10 out. 2016.

WOLRD BANK. **Urban population (% of total)**. 2017. Disponível em: http://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS. Acesso em: 31 mar. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Climate and health country profiles - 2015 a global overview**. 2015. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/208855/1/WHO_FWC_PHE_EPE_15.01_eng.pdf?ua=1>. Acesso em: 08 dez. 2016.

APÊNDICE A – Balanço Energético Municipal de 2005 a 2013

Tabela 21 - BEM de Porto Alegre, ano 2013, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2013 de Porto Alegre	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA			FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA									unidades originais
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**23.722**	**29.050**		**179.102**	**1.820**	**389.851**	**130.925**	**165.486**	**3.617.503**	**118.834**	**17.759**	**9.426**
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético	23.722	29.050		179.102	1.820	389.851	130.925	165.486	3.617.503	118.834	17.759	9.426
Setor Energético								45	6.189			
Residencial	10.612	27.201					95.492		1.281.941			
Comercial	10.612	1.849		2.093			32.199	10	1.596.278			110
Público				798	142		249		341.254			42
Agropecuário									2.808			
Transportes - Total	2.498			173.372	0	389.213	120	165.431	56.540	118.834	17.759	9.125
Rodoviário	2.498			170.635		388.569	119	4		118.834	17.759	8.981
Ferroviário									13.654			
Aéreo				101		643		165.427				5
Hidroviário				2.636			1					139
Industrial - Total				2.840	1.678	638	2.866		375.380			149
Cimento							34		107			
Ferro-gusa e Aço					413		2		183			
Ferroligas									3			
Mineração e Pelotização				470	286		50		565			25
Não-Ferrosos e Outros Metálicos							18		56.491			
Química					118		137		18.785			
Alimentos e Bebidas					807		803		75.977			
Têxtil									1.105			
Papel e Celulose				518					543			27
Cerâmica									958			
Outros				1.852	54	638	1.821		220.662			97
Consumo Não-identificado												
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 22 - BEM de Porto Alegre, ano 2013, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2013
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**3,4**	**21,2**	**24,7**	**147,2**	**2,4**	**283,8**	**81,2**	**134,0**	**298,6**	**77,5**		**1.024,7**	**1.049,4**
Consumo Final Não-Energético												**0,0**	**0,0**
Consumo Final Energético	3,4	**21,2**	**24,7**	**147,2**	**2,4**	**283,8**	**81,2**	**134,0**	**298,6**	**77,5**		**1.024,7**	**1.049,4**
Setor Energético									0,5			**0,5**	**0,5**
Residencial	3,2	9,4	**12,7**				61,7		105,1			**166,8**	**179,5**
Comercial	0,2	9,4	**9,4**	3,0			11,4	0,1	127,9	0,1		**142,5**	**151,9**
Público				1,1	0,1		0,1		30,6	0,1		**32,0**	**32,0**
Agropecuário									0,3			**0,3**	**0,3**
Transportes - Total		**2,4**	**2,4**	**140,3**		**283,2**		**133,9**	**1,0**	**77,1**		**635,6**	**638,0**
Rodoviário		2,4	**2,4**	138,6		282,6				77,0		**498,3**	**500,6**
Ferroviário									1,0			**1,0**	**1,0**
Aéreo				0,1		0,6		133,9				**134,6**	**134,6**
Hidroviário				1,7						0,1		**1,7**	**1,7**
Industrial - Total				**2,8**	**2,3**	**0,566**	**7,9**		**33,2**	**0,1**		**46,8**	**46,8**
Cimento							0,1						
Ferro-gusa e Aço					0,6							**0,6**	**0,6**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização				0,8	0,2				0,1			**1,0**	**1,0**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos							0,1		4,3			**4,4**	**4,4**
Química				0,1	0,4		0,1		2,0			**2,6**	**2,6**
Alimentos e Bebidas					1,0		1,1		5,9			**7,9**	**7,9**
Têxtil									0,1				
Papel e Celulose							0,1		0,2				
Cerâmica													
Outros				1,9	0,1	0,6	6,3		20,5			**29,5**	**29,5**
Consumo Não-identificado													
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 23 - BEM de Porto Alegre, ano 2012, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2012												unidades originais
de Porto Alegre	**FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA**			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**24.136**	**26.960**		**176.775**	**2.265**	**396.928**	**126.066**	**170.244**	**3.590.739**	**98.897**	**16.891**	**9.304**
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético	24.136	26.960		176.775	2.265	396.928	126.066	170.244	3.590.739	98.897	16.891	9.304
Setor Energético				57			345	35	6.270			3
Residencial	10.746	26.960					113.294		1.248.579			
Comercial	10.746	1.833		3.406			9.398	54	1.593.674			179
Público				1.002	183		216		343.536			53
Agropecuário									2.878			
Transportes - Total	2.644			169.685	0	396.263	124	170.155	60.457	98.897	16.891	8.931
Rodoviário	2.644			167.426		395.590	122	8		98.897	16.891	8.812
Ferroviário				24				5	12.730			1
Aéreo				117		673		170.142				6
Hidroviário				2.119			2					112
Industrial - Total				2.625	2.082	665	2.688		383.073			138
Cimento							51		122			
Ferro-gusa e Aço					585				163			
Ferroligas									4			
Mineração e Pelotização				722	223		28		1.092			38
Não-Ferrosos e Outros Metálicos							20		44.840			
Química				19	126		165		18.033			1
Alimentos e Bebidas					1.082		1.106		79.050			
Têxtil									1.352			
Papel e Celulose									1.045			
Cerâmica									919			
Outros				1.884	65	665	1.320		236.451			99
Consumo Não-identificado												
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 24 - BEM de Porto Alegre, ano 2012, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2012
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**3,3**	**21,2**	**24,5**	**149,9**	**2,2**	**310,8**	**77,3**	**139,9**	**308,8**	**68,5**	**27,0**	**1.084,4**	**1.108,9**
Consumo Final Não-Energético											27,0	**27,0**	**27,0**
Consumo Final Energético	3,3	**21,2**	**24,5**	**149,9**	**2,2**	**310,8**	**77,3**	**139,9**	**308,8**	**68,5**		**1.057,4**	**1.081,9**
Setor Energético							0,2		0,5			**0,8**	**0,8**
Residencial	3,3	9,5	**12,7**				69,4		107,4			**176,8**	**189,5**
Comercial	0,2	9,5	**9,5**	2,9			5,8		137,1	0,1		**145,8**	**155,3**
Público				0,8	0,2		0,1		29,5			**30,7**	**30,7**
Agropecuário									0,2			**0,2**	**0,2**
Transportes - Total		**2,3**	**2,3**	**143,9**	**0,0**	**310,3**	**0,1**	**139,9**	**1,1**	**68,2**		**663,4**	**665,7**
Rodoviário		2,3	**2,3**	142,0		309,7	0,1			68,1		**519,9**	**522,2**
Ferroviário									1,1			**1,1**	**1,1**
Aéreo				0,1		0,5		139,9				**140,5**	**140,5**
Hidroviário				1,8						0,1		**1,9**	**1,9**
Industrial - Total				**2,2**	**2,0**	**0,521**	**1,6**		**32,9**	**0,1**		**39,4**	**39,4**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço					0,6							**0,6**	**0,6**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização				0,6	0,2				0,1			**0,9**	**0,9**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									3,9			**3,9**	**3,9**
Química					0,1		0,1		1,6			**1,8**	**1,8**
Alimentos e Bebidas					1,0		0,7		6,8			**8,5**	**8,5**
Têxtil									0,1				
Papel e Celulose									0,1				
Cerâmica									0,1				
Outros				1,6	0,1	0,5	0,8		20,3	0,1		**23,4**	**23,4**
Consumo Não-identificado													
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 25 - BEM de Porto Alegre, ano 2011, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2011												unidades originais
de Porto Alegre	**FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA**			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**24.108**	**28.535**		**173.569**	**2.527**	**362.432**	**132.489**	**163.048**	**3.472.280**	**111.859**	**21.208**	**9.135**
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético	24.108	28.535		173.569	2.527	362.432	132.489	163.048	3.472.280	111.859	21.208	9.135
Setor Energético				43				30	6.107			2
Residencial	10.705	26.719					100.625		1.222.319			
Comercial	10.705	1.816		3.498			18.656	69	1.486.772			184
Público				1.309	123		225		355.922			69
Agropecuário				0					3.022			
Transportes - Total	2.698			165.448	52	361.710	70	162.949	63.152	111.859	21.208	8.708
Rodoviário	2.698			163.386	52	360.982	69	8		111.859	21.208	8.599
Ferroviário				33				5	12.098			2
Aéreo				67		727		162.936				4
Hidroviário				1.962			2					103
Industrial - Total				3.272	2.352	722	12.913		386.039			172
Cimento							241		120			
Ferro-gusa e Aço					648				144			
Ferroligas									7			
Mineração e Pelotização				912	169		28		1.139			48
Não-Ferrosos e Outros Metálicos							183		50.309			
Química				86	414		196		23.671			5
Alimentos e Bebidas					1.017		1.736		68.538			
Têxtil									1.596			
Papel e Celulose							194		2.373			
Cerâmica												
Outros				2.274	104	722	10.336		238.142			120
Consumo Não-identificado												
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 26 - BEM de Porto Alegre, ano 2011, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2011
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**3,4**	**21,2**	**24,7**	**147,2**	**2,4**	**283,8**	**81,2**	**134,0**	**298,6**	**77,5**		**1.024,7**	**1.049,4**
Consumo Final Não-Energético													
Consumo Final Energético	3,4	**21,2**	**24,7**	**147,2**	**2,4**	**283,8**	**81,2**	**134,0**	**298,6**	**77,5**		**1.024,7**	**1.049,4**
Setor Energético									0,5			**0,5**	**0,5**
Residencial	3,2	9,4	**12,7**				61,7		105,1			**166,8**	**179,5**
Comercial	0,2	9,4	**9,4**	3,0			11,4	0,1	127,9	0,1		**142,5**	**151,9**
Público				1,1	0,1		0,1		30,6	0,1		**32,0**	**32,0**
Agropecuário									0,3			**0,3**	**0,3**
Transportes - Total		**2,4**	**2,4**	**140,3**		**283,2**		**133,9**	**1,0**	**77,1**		**635,6**	**638,0**
Rodoviário		2,4	**2,4**	138,6		282,6				77,0		**498,3**	**500,6**
Ferroviário									1,0			**1,0**	**1,0**
Aéreo				0,1		0,6		133,9				**134,6**	**134,6**
Hidroviário				1,7						0,1		**1,7**	**1,7**
Industrial - Total				**2,8**	**2,3**	**0,566**	**7,9**		**33,2**	**0,1**		**46,8**	**46,8**
Cimento							0,1						
Ferro-gusa e Aço					0,6							**0,6**	**0,6**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização				0,8	0,2				0,1			**1,0**	**1,0**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos							0,1		4,3			**4,4**	**4,4**
Química				0,1	0,4		0,1		2,0			**2,6**	**2,6**
Alimentos e Bebidas					1,0		1,1		5,9			**7,9**	**7,9**
Têxtil									0,1				
Papel e Celulose							0,1		0,2				
Cerâmica													
Outros				1,9	0,1	0,6	6,3		20,5	0,1		**29,5**	**29,5**
Consumo Não-identificado													
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 27 - BEM de Porto Alegre, ano 2010, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2010												unidades originais
de Porto Alegre	**FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA**			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**20.485**	**30.244**		**167.400**	**3.107**	**336.895**	**125.214**	**146.798**	**3.373.460**	**104.962**	**43.621**	**8.811**
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético	20.485	30.244		167.400	3.107	336.895	125.214	146.798	3.373.460	104.962	43.621	8.811
Setor Energético								40	5.999			
Residencial	8.930	28.444					97.299		1.241.628			
Comercial	8.930	1.800		3.126			17.101	125	1.368.197			165
Público				1.389	100		169		357.047			73
Agropecuário				0					2.903			
Transportes - Total	2.625			158.883	83	336.895	22	146.633	12.715	104.962	43.621	8.362
Rodoviário	2.625			156.398	83	336.154	22	12		104.962	43.621	8.231
Ferroviário				52				5	12.715			3
Aéreo						741		146.616				
Hidroviário				2.432								128
Industrial - Total				4.002	2.924	0	10.624		384.970			211
Cimento							53					
Ferro-gusa e Aço					746							
Ferroligas												
Mineração e Pelotização				637	129		29		1.112			34
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									133.031			
Química				171	1.002		19		33.482			9
Alimentos e Bebidas					993		1.570		79.425			
Têxtil									2.207			
Papel e Celulose							62		2.600			
Cerâmica												
Outros				3.195	54		8.891		133.113			168
Consumo Não-identificado												
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 28 - BEM de Porto Alegre, ano 2010, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2010
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**3,7**	**18,0**	**21,7**	**142,0**	**3,0**	**263,8**	**76,8**	**120,7**	**290,1**	**90,4**	**53,0**	**1.039,7**	**1.061,4**
Consumo Final Não-Energético											53,0	**53,0**	**53,0**
Consumo Final Energético	3,7	**18,0**	**21,7**	**142,0**	**3,0**	**263,8**	**76,8**	**120,7**	**290,1**	**85,0**		**981,2**	**1.002,9**
Setor Energético							0,0		0,5			**0,5**	**0,5**
Residencial	3,4	7,9	**11,3**				59,6		106,8			**166,4**	**177,7**
Comercial	0,2	7,9	**7,9**	2,7			10,5	0,1	117,7	0,1		**131,0**	**138,9**
Público				1,2	0,1		0,1		30,7	0,1		**32,1**	**32,1**
Agropecuário									0,2			**0,2**	**0,2**
Transportes - Total		**2,3**	**2,3**	**134,7**	**0,1**	**263,8**		**120,5**	**1,1**	**84,6**		**604,8**	**607,2**
Rodoviário		2,3	**2,3**	132,6	0,1	263,2				84,5		**480,4**	**482,7**
Ferroviário									1,1			**1,1**	**1,1**
Aéreo						0,6		120,5				**121,1**	**121,1**
Hidroviário				2,1						0,1		**2,2**	**2,2**
Industrial - Total				**3,4**	**2,8**		**6,5**		**33,1**	**0,2**		**46,0**	**46,0**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço					0,7							**0,7**	**0,7**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização				0,5	0,1				0,1			**0,8**	**0,8**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									11,4			**11,4**	**11,4**
Química				0,1	1,0				2,9			**4,0**	**4,0**
Alimentos e Bebidas					1,0		1,0		6,8			**8,7**	**8,7**
Têxtil									0,2				
Papel e Celulose									0,2				
Cerâmica													
Outros				2,7	0,1		5,5		11,4			**19,8**	**19,8**
Consumo Não-identificado													
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 29 - BEM de Porto Alegre, ano 2009, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2009 de Porto Alegre												unidades originais
	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**17.631**	**30.138**		**158.226**	**3.424**	**285.874**	**123.998**	**137.410**	**3.279.152**	**95.069**	**88.419**	**5.877**
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético	15.114	30.138		158.226	3.424	285.874	123.998	137.410	3.279.152	95.069	88.419	5.877
Setor Energético									6.433			
Residencial	7.557						100.874		1.200.723			
Comercial	7.557	1.794		299	879		6.270	194	1.325.067			11
Público		28.344		4.050	1.001		11.936		359.877			150
Agropecuário					202		69		2.751			
Transportes - Total	2.517			143.294	0	285.874	0	137.216	12.049	95.069	88.419	5.322
Rodoviário	2.517			71.895		285.208				95.069	88.419	2.670
Ferroviário				69.627					12.049			2.586
Aéreo						666		137.216				
Hidroviário				1.772								66
Industrial - Total				10.583	1.343		4.850		372.251			393
Cimento							33					
Ferro-gusa e Aço				1.206								45
Ferroligas												
Mineração e Pelotização									706			
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									121.711			
Química				150					57.246			6
Alimentos e Bebidas				1.245	1.121		1.751		65.187			46
Têxtil									3.145			
Papel e Celulose				236					2.208			9
Cerâmica				286			2.012					11
Outros				7.460	222		1.054		122.048			277
Consumo Não-identificado												
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 30 - BEM de Porto Alegre, ano 2009, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2009
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**3,6**	**15,5**	**19,2**	**134,2**	**3,3**	**223,8**	**76,0**	**113,0**	**282,0**	**100,3**	**30,0**	**962,6**	**981,7**
Consumo Final Não-Energético											30,0	**30,0**	**30,0**
Consumo Final Energético	3,6	**15,5**	**19,2**	**134,2**	**3,3**	**223,8**	**76,0**	**113,0**	**282,0**	**100,3**		**932,6**	**951,7**
Setor Energético									0,6			**0,6**	**0,6**
Residencial		6,7	**6,7**				61,8		103,3			**165,1**	**171,7**
Comercial		6,7	**6,7**	0,3	0,8		3,8	0,2	114,0			**119,1**	**125,7**
Público	3,4		**3,4**	3,4	1,0		7,3		30,9	0,1		**42,8**	**46,2**
Agropecuário					0,2				0,2			**0,4**	**0,4**
Transportes - Total		**2,2**	**2,2**	**121,5**		**223,8**		**112,8**	**1,0**	**99,9**		**559,1**	**561,3**
Rodoviário		2,2	**2,2**	61,0		223,3				97,9		**382,2**	**384,4**
Ferroviário				59,0					1,0	2,0		**62,0**	**62,0**
Aéreo						0,5		112,8				**113,3**	**113,3**
Hidroviário				1,5								**1,5**	**1,5**
Industrial - Total				**9,0**	**1,3**		**3,0**		**32,0**	**0,3**		**45,5**	**45,5**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço				1,0								**1,0**	**1,0**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização									0,1			**0,1**	**0,1**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									10,5			**10,5**	**10,5**
Química				0,1					4,9			**5,1**	**5,1**
Alimentos e Bebidas				1,1	1,1		1,1		5,6			**8,8**	**8,8**
Têxtil									0,3				
Papel e Celulose				0,2					0,2				
Cerâmica				0,2			1,2					**1,5**	**1,5**
Outros				6,3	0,2		0,6		10,5			**17,9**	**17,9**
Consumo Não-identificado													
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 31 - BEM de Porto Alegre, ano 2008, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2008 de Porto Alegre												unidades originais
	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA			FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final	**18.914**	**29.926**		**173.503**	**4.118**	**286.681**	**118.070**	**122.360**	**3.204.451**	**95.329**	**71.014**	**4.400**
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético	18.914	29.926		173.503	4.118	286.681	118.070	122.360	3.204.451	95.329	71.014	4.400
Setor Energético									6.101			
Residencial	8.174	28.145					94.939		1.167.141			
Comercial	8.174	1.781		537	875		6.270	266	1.263.047			14
Público				5.072	946		11.936	3	349.572			129
Agropecuário					218		69		2.777			
Transportes - Total	2.566			158.399	0	286.681	0	122.081	11.990	95.329	71.014	4.017
Rodoviário	2.566			80.092		285.986				95.329	71.014	2.031
Ferroviário				76.930					11.990			1.951
Aéreo						696		122.081				
Hidroviário				1.378								35
Industrial - Total				9.495	2.079		4.857	10	403.824			241
Cimento							35					
Ferro-gusa e Aço				1.220								31
Ferroligas												
Mineração e Pelotização									1.063			
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									138.726			
Química				152					57.099			4
Alimentos e Bebidas					1.243		1.751		70.757			
Têxtil									3.821			
Papel e Celulose				210					2.065			5
Cerâmica				312			2.012					8
Outros				7.603	836		1.060	10	130.293			193
Consumo Não-identificado												
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 32 - BEM de Porto Alegre, ano 2008, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2008
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**3,6**	**16,6**	**20,3**	**147,1**	**3,9**	**224,5**	**72,4**	**100,6**	**275,6**	**90,4**	**29,0**	**943,5**	**963,8**
Consumo Final Não-Energético											29,0	**29,0**	**29,0**
Consumo Final Energético	3,6	**16,6**	**20,3**	**147,1**	**3,9**	**224,5**	**72,4**	**100,6**	**275,6**	**90,4**		**914,5**	**934,8**
Setor Energético									0,5			**0,5**	**0,5**
Residencial	3,4	7,2	**10,6**				58,2		100,4			**158,6**	**169,2**
Comercial		7,2			0,8		3,8		108,6			**113,3**	**113,3**
Público				4,3	0,9		7,3		30,1			**42,6**	**42,6**
Agropecuário													
Transportes - Total		**2,3**	**2,3**	**134,3**		**224,5**		**100,4**	**1,0**	**90,2**		**550,3**	**552,6**
Rodoviário		2,3	**2,3**	67,9		223,9				88,7		**380,5**	**382,8**
Ferroviário				65,2					1,0	1,5		**67,7**	**67,7**
Aéreo						0,5		100,4				**100,9**	**100,9**
Hidroviário				1,2								**1,2**	**1,2**
Industrial - Total				**8,1**	**2,0**		**3,0**		**34,7**			**47,8**	**47,8**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço				1,0								**1,0**	**1,0**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização												**0,0**	**0,0**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									11,9			**11,9**	**11,9**
Química									4,9			**4,9**	**4,9**
Alimentos e Bebidas					1,2		1,1		6,1			**8,4**	**8,4**
Têxtil													
Papel e Celulose													
Cerâmica							1,2					**1,2**	**1,2**
Outros				6,4	0,8		0,6		11,2			**19,1**	**19,1**
Consumo Não-identificado													
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 33 - BEM de Porto Alegre, ano 2007, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2007												unidades originais
de Porto Alegre	**FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA**			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final		**47.936**		**183.013**	**2.251**	**286.577**	**133.033**	**115.654**	**3.192.501**	**95.283**	**44.534**	
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético		47.936		183.013	2.251	286.577	133.033	115.654	2.779.132	95.283	44.534	
Setor Energético									7.750			
Residencial		28.142					91.908		1.188.227			
Comercial		1.781		7.446	458		6.270	216	1.232.059			
Público				2.471	755		11.936	3	348.074			
Agropecuário				585	218		69		3.022			
Transportes - Total				161.068	0	286.577	0	115.425	12.507	95.283	44.534	
Rodoviário				160.553		285.848				95.283	44.534	
Ferroviário				516					12.507			
Aéreo						729		115.425				
Hidroviário												
Industrial - Total				6.243	819	0	22.850	10	400.861			
Cimento				385			35		350			
Ferro-gusa e Aço				113			52		460			
Ferroligas									10			
Mineração e Pelotização							27		1.335			
Não-Ferrosos e Outros Metálicos				320					50.290			
Química				160			104		39.025			
Alimentos e Bebidas							1.946		73.565			
Têxtil							20		3.237			
Papel e Celulose							6		2.274			
Cerâmica							2.954		2.984			
Outros				5.266	819		17.705	10	227.331			
Consumo Não-identificado		18.013	**0**	5.201								
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 34 - BEM de Porto Alegre, ano 2007, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2007
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**5,8**		**5,8**	**155,2**	**2,2**	**224,4**	**81,5**	**95,1**	**274,6**	**73,6**	**25,0**	**931,5**	**937,3**
Consumo Final Não-Energético											25,0	**25,0**	**25,0**
Consumo Final Energético	5,8		**5,8**	**155,2**	**2,2**	**224,4**	**81,5**	**95,1**	**239,0**	**73,6**		**871,0**	**876,8**
Setor Energético									0,7			**0,7**	**0,7**
Residencial	3,4		**3,4**				56,3		102,2			**158,5**	**161,9**
Comercial				6,3			3,8		106,0			**116,1**	**116,1**
Público				2,1	0,7		7,3		29,9			**40,1**	**40,1**
Agropecuário													
Transportes - Total				**136,6**		**224,4**		**94,9**	**1,1**	**73,6**		**530,5**	**530,5**
Rodoviário				136,1		223,8				73,6		**433,6**	**433,6**
Ferroviário									1,1			**1,1**	**1,1**
Aéreo						0,6		94,9				**95,5**	**95,5**
Hidroviário													
Industrial - Total				**5,3**	**0,8**		**14,0**		**34,5**			**54,6**	**54,6**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço												**0,0**	**0,0**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização												**0,0**	**0,0**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									4,3			**4,3**	**4,3**
Química									3,4			**3,4**	**3,4**
Alimentos e Bebidas							1,2		6,3			**7,5**	**7,5**
Têxtil													
Papel e Celulose													
Cerâmica							1,8					**1,8**	**1,8**
Outros				4,5	0,8		10,9		19,6			**35,7**	**35,7**
Consumo Não-identificado	2,2		**2,2**	4,4								**4,4**	**6,6**
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 35 - BEM de Porto Alegre, ano 2006, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2006												unidades originais
de Porto Alegre	**FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA**			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final		**49.147**		**168.287**	**5.049**	**274.090**	**118.934**	**104.930**	**3.147.187**	**91.134**	**25.025**	
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético		49.147		168.287	5.049	274.090	118.934	104.930	2.744.954	91.134	25.025	
Setor Energético				19			4		7.485			
Residencial		28.044					79.927		1.119.801			
Comercial		1.774		7.185	953		5.870	13	1.281.277			
Público				1.951	576		10.849	88	332.899			
Agropecuário				549	298		67	3	3.491			
Transportes - Total				148.039	258	274.090	153	57.450	19.435	91.134	25.025	
Rodoviário				147.507	258	273.403	153	26		91.134	25.025	
Ferroviário				507				12	19.435			
Aéreo				25		686		57.410				
Hidroviário								1				
Industrial - Total				5.645	2.963		22.065	47.376	382.798			
Cimento				362			35		314			
Ferro-gusa e Aço				108	719		52		439			
Ferroligas									74			
Mineração e Pelotização							26	3	1.460			
Não-Ferrosos e Outros Metálicos				298					72.297			
Química				160	989		104	17	37.310			
Alimentos e Bebidas							1.896	51	72.164			
Têxtil					351		18		3.960			
Papel e Celulose							6		2.005			
Cerâmica							2.730		2.868			
Outros				4.717	905		17.198	47.305	189.908			
Consumo Não-identificado		19.329	**0**	4.898								
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 36 - BEM de Porto Alegre, ano 2006, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2006
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**5,9**		**5,9**	**142,7**	**4,8**	**214,6**	**72,9**	**86,3**	**270,7**	**61,4**	**24,0**	**877,4**	**883,3**
Consumo Final Não-Energético											24,0	**24,0**	**24,0**
Consumo Final Energético	5,9		**5,9**	**142,7**	**4,8**	**214,6**	**72,9**	**86,3**	**236,1**	**61,4**		**818,8**	**824,8**
Setor Energético									0,6			**0,6**	**0,6**
Residencial	3,4		**3,4**				49,0		96,3			**145,3**	**148,7**
Comercial				6,1	0,9		3,6		110,2			**120,8**	**120,8**
Público				1,7	0,6		6,7		28,6			**37,5**	**37,5**
Agropecuário													
Transportes - Total				**125,5**	**0,2**	**214,6**		**47,2**	**1,7**	**61,4**		**450,7**	**450,7**
Rodoviário				125,1		214,1				61,4		**400,6**	**400,6**
Ferroviário									1,7			**1,7**	**1,7**
Aéreo						0,5		47,2				**47,7**	**47,7**
Hidroviário													
Industrial - Total				**4,8**	**2,8**		**13,5**	**38,9**	**32,9**			**93,0**	**93,0**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço					0,7							**0,7**	**0,7**
Ferroligas													
Mineração e Pelotização												**0,0**	**0,0**
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									6,2			**6,2**	**6,2**
Química					0,9				3,2			**4,2**	**4,2**
Alimentos e Bebidas							1,2		6,2			**7,4**	**7,4**
Têxtil													
Papel e Celulose													
Cerâmica							1,7					**1,7**	**1,7**
Outros				4,0	0,9		10,5	38,9	16,3			**70,6**	**70,6**
Consumo Não-identificado	2,3		**2,3**	4,2								**4,2**	**6,5**
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 37 - BEM de Porto Alegre, ano 2005, em unidades originais

BALANÇO ENERGÉTICO 2005 de Porto Alegre												unidades originais
	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA			**FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA**								
FLUXO DE ENERGIA	Gás Natural mil m^3	Lenha m^3		Óleo Diesel m^3	Óleo Combustível m^3	Gasolina m^3	GLP m^3	Querosene m^3	Eletricidade MWh	Álcool Etílico Anidro m^3	Álcool Etílico Hidratado m^3	Biodiesel (B100) m^3
Consumo Final		**29.715**		**168.175**	**4.474**	**272.114**	**118.226**	**104.582**	**3.122.981**	**90.444**	**31.361**	
Consumo Final Não-Energético												
Consumo Final Energético		29.715		168.175	4.474	272.114	118.226	104.582	2.739.791	90.444	31.361	
Setor Energético				22			5	6	7.123			
Residencial		27.946					90.829		1.117.383			
Comercial		1.769		5.557	887		3.893	27	1.287.963			
Público				2.191	579		3.113	335	324.162			
Agropecuário				292			40	1	3.159			
Transportes - Total				152.571	64	272.114	192	60.345	11.870	90.444	31.361	
Rodoviário				151.940	64	271.331	192	71		90.444	31.361	
Ferroviário				607				53	11.870			
Aéreo				25		783		57.611				
Hidroviário								2.611				
Industrial - Total				4.937	2.944		20.154	43.868	371.320			
Cimento							33		268			
Ferro-gusa e Aço				41	705		88	1	285			
Ferroligas									100			
Mineração e Pelotização							18		1.869			
Não-Ferrosos e Outros Metálicos				432					93.950			
Química				50	1.036		21	8	36.038			
Alimentos e Bebidas				20			945	24	70.702			
Têxtil					321			1	443			
Papel e Celulose									5.364			
Cerâmica							1.552		2.923			
Outros				4.394	882		17.497	43.834	159.377			
Consumo Não-identificado		17.042	0	2.605								
Ajustes												

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).

Tabela 38 - BEM de Porto Alegre, ano 2005, em 10^3 tep

BALANÇO ENERGÉTICO DE PORTO ALEGRE													ano: 2005
USO FINAL													unidade: 10^3 tep
FLUXO DE ENERGIA	Lenha	Gás Natural	**Energia Primária Total**	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Álcool Etílico Anidro e Hidratado[1]	Produtos Não Energéticos do Petróleo	**Energia Secundária Total**	**Energia Total**
Consumo Final	**5,4**		**5,4**	**141,9**	**4,2**	**213,1**	**72,5**	**85,7**	**268,6**	**64,3**	**23,9**	**873,8**	**879,3**
Consumo Final Não-Energético											23,9	**23,9**	**23,9**
Consumo Final Energético	5,4		**5,4**	**141,9**	**4,2**	**213,1**	**72,5**	**85,7**	**268,3**	**64,3**		**849,9**	**855,4**
Setor Energético									0,6			**0,6**	**0,6**
Residencial	3,4		**3,4**				55,7		96,1			**151,8**	**155,2**
Comercial				4,7	0,9		2,4		110,8			**118,7**	**118,7**
Público				1,9	0,6		1,9		27,9			**32,2**	**32,2**
Agropecuário													
Transportes - Total				**129,4**		**213,1**		**49,6**	**1,0**	**64,3**		**457,4**	**457,4**
Rodoviário				128,8		212,5				64,3		**405,6**	
Ferroviário				0,5					1,0			**1,5**	
Aéreo						0,6		47,4				**48,0**	
Hidroviário								2,1				**2,1**	
Industrial - Total				**3,7**	**2,8**		**12,4**	**36,1**	**31,9**			**86,9**	**86,9**
Cimento													
Ferro-gusa e Aço					0,7							**0,7**	
Ferroligas													
Mineração e Pelotização													
Não-Ferrosos e Outros Metálicos									8,1			**8,1**	
Química					1,0				3,1			**4,1**	
Alimentos e Bebidas							0,6		6,1			**6,7**	
Têxtil													
Papel e Celulose													
Cerâmica							1,0					**1,0**	
Outros				3,7	0,8		10,7	36,1	13,7			**65,1**	
Consumo Não-identificado	2,1		**2,1**	2,2								**2,2**	**2,2**
Ajustes		0	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**

Fonte: Elaboração própria, 2016. Documentos consultados: (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015; SULGÁS, 2016; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2016a).