

# Identificação do Sistema Energético da Macrometrópole Paulista: primeiro passo para atuação local em Mudanças Climáticas

Flávia Mendes de Almeida Collaço<sup>I</sup>

Raiana Schirmer Soares<sup>II</sup>

João Marcos Mott Pavanelli<sup>III</sup>

Lira Luz Benites-Lazaro<sup>IV</sup>

Guilherme Massignan Berekuk<sup>V</sup>

Andrea Lampis<sup>VI</sup>

Célio Bermann<sup>VII</sup>

<sup>I</sup> Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>II</sup> Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>III</sup> Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>IV</sup> Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>V</sup> Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>VI</sup> Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>VII</sup> Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP), São Paulo, SP, Brasil.

**Resumo:** Este artigo analisa a oferta e demanda de energia e investiga as opções de aproveitamento de recursos energéticos locais da Macrometrópole Paulista a partir de fontes renováveis. Para tanto, foi conduzido um estudo abrangendo os 174 municípios da macrometrópole para identificar o Sistema de Energia da região, através do levantamento dos dados históricos sobre consumo e oferta de energia (2006-2017) e de emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes. Resultados do estudo indicam que a região consumiu em 2017, 73% da demanda total por energia do estado de São Paulo e possui, dentro de seus limites municipais, cerca de 17% da capacidade instalada total para geração de eletricidade do estado. Ainda, seria possível aumentar em 112% a capacidade instalada para geração de eletricidade na região. Conclui-se que a compreensão dos sistemas energéticos locais é indispensável para a formulação de políticas públicas coerentes e integradas, necessárias ao enfrentamento das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Sistema energético; Macrometrópole Paulista; Mudanças Climáticas; Governança Energética.

São Paulo. Vol. 23, 2020

Tema em destaque: Urbanização, Planejamento e Mudanças Climáticas

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0176r1vu2020L6TD>

## Introdução

O Acordo de Paris (2015) reconhece a adaptação às mudanças climáticas como um desafio global enfrentado por todos, com dimensões locais, subnacionais, nacionais, regionais e internacionais. Por isso, implementar medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas envolve o reconhecimento da visão transfronteiriça do risco climático, das interconexões entre pessoas, ecossistemas e economias em um mundo globalizado (DAVIS; BENZIE; BARROTT, 2016). Especialmente porque seus impactos serão sentidos no âmbito regional e local (IPCC, 2014).

Assim, governos locais possuem muitas das competências necessárias para implementar as ações políticas, e são atores importantes que devem ser incorporados nas negociações climáticas (SCHAKEL; HOOGHE; MARKS, 2015; SELLERS; SUN-YOUNG, 2011). No entanto, o escopo e abrangência de atuação indefinidos, altera o *modus operandi* de formulação, implementação e monitoramento de políticas públicas tradicionais, aumentando a complexidade e a natureza do desafio de adaptação às mudanças climáticas, e, por outro lado, cria oportunidades para revigorar a cooperação internacional e repensar a governança energética tanto local quando globalmente.

Nesse sentido, o Planejamento Energético Urbano (PEU), assim como os Sistemas de Energia Urbanos (SEU), são temas de crescente interesse de pesquisas. Tal área do conhecimento apresenta-se como um caminho possível para alcançar o desenvolvimento de cidades sustentáveis e/ou de baixo carbono. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivos descrever e analisar o sistema de energia da região da Macrometrópole Paulista (MMP). Para tanto, foram levantados dados sobre a oferta e demanda de energia no período de 2006 até 2017, assim como foi conduzida uma investigação exploratória sobre as opções de fomento e aproveitamento de recursos de energia locais a partir de fontes renováveis (FER) para geração de eletricidade.

Para alcançar esses objetivos foram formuladas as seguintes perguntas orientadoras da pesquisa: quais são os recursos energéticos mais consumidos e setores econômicos mais demandantes na MMP? Como se dá a composição de consumo de FER e não renováveis na demanda e oferta dessa região? Qual a estimativa de emissão de gases de efeito estufa (GEE) da MMP? Qual é o potencial energético local dos municípios da MMP para aumentar a geração de energia de forma local e com FER?

Para responder à essas questões, foi conduzido um estudo abrangendo os 174 municípios que compõem a MMP, procurando identificar os Sistemas de Energia desses municípios. Foi realizado um levantamento de dados históricos sobre i) a demanda de energia de cada município (2006-2017); ii) oferta de energia, considerando a capacidade instalada (em kW) para geração de eletricidade existente na região (até junho de 2019); iii) levantamento das possibilidades de exploração dos recursos renováveis locais para: solar fotovoltaico, hidráulico - através da identificação de potenciais já levantados, mas ainda não explorados de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) na MMP-, e de biogás, considerando utilização do lodo do esgoto, produto do processo de Saneamento da região; e iv) o histórico de emissões de CO<sub>2</sub>, da MMP segundo dados oficiais de documentos governamentais.

Após essa introdução, a próxima seção apresenta uma revisão sobre temas centrais ao desenvolvimento do estudo: Energia, Governança Energética e Mudanças Climáticas. A terceira seção discute aspectos técnicos sobre FER, geração distribuída e atuação local. A seção “materiais e métodos” caracteriza a MMP como território de estudo e descreve os materiais e métodos utilizados. A seção “resultados” por sua vez, descreve e discute os resultados com respeito à demanda e oferta de energia na região. Por fim, a última seção conclui o estudo, destacando resultados, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## **Energia, Governança Energética e Mudanças Climáticas**

Segundo El Baradei (2008), “o acesso à energia é condição fundamental para proporcionar desenvolvimento e crescimento econômico”. Todavia, em países com perfil econômico dependente como o Brasil, as relações entre crescimento econômico e desenvolvimento precisam ser esclarecidas. Sem dúvida, o uso de energia está fortemente relacionado a quase todos os aspectos do desenvolvimento - renda, saúde, nutrição, água, infraestrutura, educação, e até mesmo a expectativa de vida.

No entanto, a produção e consumo energético estão associados a um aumento das desigualdades globais e à deterioração do meio ambiente, decorrentes da predominância do uso dos combustíveis fósseis, uma vez que a maioria dos sistemas industriais, agrícolas, comerciais, residenciais e de consumo foram construídos em torno da oferta abundante do “ouro negro” (BENITES-LAZARO et al., 2018a; URRY, 2010).

Nesse sentido, nos tempos atuais, tem-se que a produção e consumo de energia é a maior fonte de emissão global de GEE (BALAT, 2005; BAZILIAN et al., 2014; REHMAN; RASHID, 2017), e segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), as mudanças climáticas estão intimamente associadas às emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, dois terços dos quais provêm da produção e uso de energia (IEA, 2015).

Apesar da clara e reconhecida interligação entre o consumo global de energia e as mudanças climáticas, a atuação e implementação de políticas tem sido limitada. Da mesma forma, o impacto ambiental dos sistemas de energia atuais não tem sido adequadamente associado, o que tem resultado em letargia para atuação na área. Conforme descreveram Heubaum e Biermann (2015), durante anos, a Convenção do Clima não associou o problema das mudanças climáticas ao uso e consumo da energia.

Embora nos últimos anos, especificamente no âmbito do Acordo de Paris (2015), um número crescente de governos tenha estabelecido metas nacionais de redução das emissões de GEE, poucos conseguiram projetar, e implementar com sucesso, uma política energética que esteja de acordo com a reconhecida e urgente necessidade de descarbonizar suas economias (HEUBAUM; BIERMANN, 2015; VAN DE GRAAF; COLGAN, 2016). Para alguns estudiosos o problema é agravado pela arquitetura institucional da governança energética global, que permanece altamente fragmentada e mal equipada para abordar efetivamente o poli-centrismo inerente ao assunto (ESCRIBANO, 2015). Essa ausência de governança efetiva está associada ao estabelecimento de uma variedade de problemas interligados e de alta complexidade, tais como a busca pela segurança energé-

tica, o acesso à diferentes fontes de energia e as externalidades ambientais e climáticas negativas criadas pela extração, produção, transporte e consumo de energia (HEUBAUM; BIERMANN, 2015).

Allen, Dávila e Hoffman (2005), ressaltam que o debate sobre governança tem se expandido significativamente nos últimos quinze anos, e está associado a um crescente interesse da comunidade internacional em compreender e melhorar as condições gerais para a criação de políticas holísticas de associação da democracia participativa, da justiça social e da sustentabilidade ambiental (ALLEN; DAVILA; HOFMANN, 2005).

Assim, este trabalho assume definição de Sovacool e Florini (2012) para “governança energética”: estrutura que engloba a regulamentação e a aplicação da lei visando superar os problemas de ação coletiva relacionados ao suprimento e uso de energia. Envolve os processos de agendamento, negociação, implementação, monitoramento e aplicação de regras e acordos relacionados à energia, em suas mais variadas escalas (local, nacional e global), bem como os atores ligados à energia, incluindo governos, organizações não-governamentais (ONGs), grupos da sociedade civil, corporações, cidadãos, parcerias público-privadas e consumidores comuns.

A governança multinível tornou-se um meio para explicar como a ação climática e energética é concretizada em cenários políticos policêntricos, multissetoriais e com vários atores, com transferência de competências entre instituições governamentais locais, nacionais e supranacionais (KERN; BULKELEY, 2009; WESTMAN; BROTO; HUANG, 2019; FUHR; HICKMANN; KERN, 2018). Isso significa que as ações locais sobre o clima se tornam cada vez mais integradas nas estruturas de políticas regionais, nacionais e internacionais (DI GREGORIO, et al., 2019). Dessa forma, a governança climática multinível significa essencialmente ativar o potencial dinâmico de cada instância governamental assim como aumentar a interação entre todos os níveis para alcançar uma mobilização global de atores (JÄNICKE; QUITZOW, 2017).

Existe uma extensa literatura que analisa os modelos de governança multinível relativos à agenda das mudanças climáticas, concentrando-se principalmente no envolvimento das cidades e dos governos locais (MELICA, et al., 2018; FUHR; HICKMANN; KERN, 2018). Além disso, diversos organismos internacionais têm destacado o papel importante dos governos locais na resposta global às mudanças climáticas. Recentemente, iniciativas foram lançadas em nível internacional, sendo uma das mais importantes a Nova Agenda Urbana das Nações Unidas para Habitat (UNITED NATIONS HABITATS, 2017). Tal agenda fornece uma estrutura orientadora para os governos nacionais apoiarem a urbanização sustentável. Estudos recentes mostram que as cidades reúnem condições socioeconômicas e regulatórias privilegiadas que fazem do nível local um lócus ideal para coordenação de respostas viáveis ao problema de desenvolver políticas mais eficazes em torno de questões ambientais e de energia (WESTMAN; BROTO; HUANG, 2019; FUDGE; PETERS, 2016).

## Fontes renováveis de energia, geração distribuída e atuação local

Como apontando na seção anterior, a falta de governança em nível global e nacional tem contribuído para fortalecer o papel das cidades como agentes da sustentabilidade e resiliência em face às ameaças climáticas (JACOBI; TRANI, 2019). Nesse sentido é que se reforça o entendimento sobre os SEU, como forma de avaliar as possíveis contribuições dos municípios tanto para implementação de estratégias de mitigação, quando de adaptação. Há, portanto, necessidade de alinhamento entre as políticas e os diferentes níveis governamentais e setores da ação pública.

Os diferentes tipos de fontes de energia podem ser divididos entre FER e não renováveis. Alguns exemplos de recursos não-renováveis são os fósseis, tais como o petróleo e derivados, sendo o consumo dessas fontes de energia o principal fator associado a ruptura climática (WEBB; HAWKEY; TINGEY, 2016). Exemplos de FER por sua vez, são a biomassa, o biogás, a hídrica, a solar, a eólica e a nuclear (GOLDEMBERG; LUCON, 2012). Tanto os recursos renováveis como os não-renováveis são usados na provisão de serviços energéticos (força motriz; iluminação; calor de processo; aquecimento direto; refrigeração, entre outros), mas também podem ser usados para conversão em eletricidade, com os mais variados usos finais. Por isso, compreender as necessidades em termos de recursos demandados, usos finais da energia e as potencialidades de ofertar recursos ou serviços dentro dos limites territoriais dos municípios, compõem parte inicial da agenda de investigação para proposição de políticas públicas contextualizadas e de adaptação e mitigação das mudanças climáticas no âmbito das cidades.

Nesse sentido, investir em geração distribuída pode ser considerado uma forma de atuação local na temática energética considerando que a exploração dos recursos renováveis pode ocorrer segundo estratégias centralizadas (forma tradicional de atuação do Planejamento Energético), ou distribuídas (caracterizadas por permitir a geração junto, ou próxima aos consumidores finais de energia, independente da potência, tecnologia e fonte utilizada). São exemplos de fontes de geração distribuída: solar, eólica, biogás, biomassa, hídrica e cogeração. Apesar disso, a fonte renovável distribuída mais utilizada atualmente no Brasil é a solar fotovoltaica (PV) (ANEEL, 2019b), e de forma centralizada, são a eólica e solar PV (EPE, 2018).

No entanto, o uso da eletricidade gerada por tais fontes (solar e eólica) apresenta problemas técnicos quando seu fornecimento não está associado ao seu consumo imediato, causando dificuldades para o controle do despacho da eletricidade na rede. Os problemas causados estão relacionados à intermitência associada a suas fontes primárias (sol e vento) e as condições climáticas e meteorológicas que determinam a frequência e a intensidade dos ventos e da incidência solar (PEREIRA et al, 2017). Estas características se apresentam como uma desvantagem em comparação com outras formas de geração de eletricidade, tais como grandes centrais termelétricas, que podem utilizar e armazenar diversos combustíveis como o gás natural (GN), petróleo, carvão mineral, nuclear, ou como usinas hidrelétricas com grandes reservatórios, que podem armazenar água (nesse caso reduzindo sua intermitência). Uma grande represa de água por exemplo, ou alguns barris de petróleo estocados, garantem a estabilidade da geração elétrica *on-demand* (LO-

VINS, 2013), ou seja, no momento em que há demanda, com estabilidade e controle durante o processo. No caso das fontes PV e eólica essa capacidade preditiva se torna mais fluída e a geração fica subjugada aos aspectos meteorológicos de curto prazo (PRASAD; TAYLOR; KAY, 2017).

Muitas pesquisas estão sendo conduzidas para possibilitar a inserção das FER de forma maciça nas redes de eletricidade do mundo. Ao estudar as sinergias entre PV e eólica, Prasad, Taylor e Kay (2017) demonstraram que existe potencial sinérgico para o uso dos espaço-temporais entre a geração eólica e geração solar fotovoltaica de forma associada reduzindo inclusive seus custos de produção. Demais estudos técnicos (CARRASCO et al., 2004; LEHTOLA; ZAHEDI, 2019; LIANG; MAZIN; REZA, 2017; NOTTON et al., 2018; ROSLAN et al., 2019) também procuraram apontar limites de geração de solar fotovoltaica e da eólica em níveis satisfatórios de operação da rede elétrica.

Nesse sentido, explorar as possibilidades de uso das renováveis de forma distribuída, permite o envolvimento e atuação dos governos locais no planejamento energético, isso porque estudos recentes (GIROTTI, 2019; MARINS, 2014) demonstram a importância de considerar as formas de GD em conjunto com análise do uso e ocupação do solo dos municípios, visando o melhor planejamento e aumento de eficiência da geração e o menor impacto na rede elétrica. O uso comercial ou uso misto do solo, por exemplo, quando associado à geração fotovoltaica distribuída, é uma estratégia de PEU que diminui o problema de intermitência elétrica associado a utilização de GD, uma vez que o pico do consumo energético do uso comercial ocorre, na maior parte das vezes, combinado com a geração de energia fotovoltaica distribuída.

Como visto, a intermitência intrínseca à insolação e a disponibilidade de ventos impactam na segurança do fornecimento da energia e, se não manejados adequadamente, podem ocasionar colapso entre oferta e demanda. Estes gargalos técnicos, entretanto, parecem estar cobertos com uma literatura propositiva e em constante atualização (alguns exemplos são: LIANG; MAZIN; REZA, 2017; NOTTON et al., 2018; ROSLAN et al., 2019) principalmente sugerindo métodos que estimam o impacto de diferentes dispositivos de armazenamento e acumulação, descentralização do planejamento energético e associação do planejamento energético ao urbano. As FER encontram-se dispersas no território, o que contribui para uma agenda cada vez maior de exploração e inserção das mesmas de forma distribuída. Nesse sentido, apresenta-se a necessidade do entendimento sobre a composição da oferta e demanda de energia das áreas urbanas e rurais dos municípios, assim como o levantamento sobre o potencial de geração local através do uso de FER.

Por outro lado, a governança multinível é apresentada como uma perspectiva para estudar as transições sociotécnicas, reconhecendo que as transições de regime são complexas e envolvem interações multidimensionais e em constante evolução entre os vários atores: governo, indústria, tecnologia, mercados, cultura e sociedade (GEELS; KEMP, 2012). Da mesma forma, envolvem relações de poder, como é demonstrado no estudo de Soares (2020), onde a correlação positiva foi percebida com o cruzamento de indicadores tais como as instalações de geração distribuída fotovoltaica na MMP, os diferentes índices de desenvolvimento humano municipal (IDHM) e a renda média per capita dos municí-

pios. Isso significa, segundo a autora, que o alcance a essa fonte de energia encontra-se ainda restritos à uma parcela da população com maior poder aquisitivo (SOARES, 2020; COLLAÇO et al., 2019b).

## Materiais e Métodos

### *Caracterização da Macrometrópole Paulista*

A MMP é uma área em contínua expansão que aglomera diferentes unidades territoriais. São ao todo 174 municípios (EMPLASA, 2012), distribuídos em 4 regiões metropolitanas (São Paulo, Baixada Santista, Campinas, Vale do Paraíba e Litoral Norte) 3 áreas urbanas (Jundiaí; Piracicaba e Sorocaba) e 2 microrregiões (São Roque e Bragançana) (EMPLASA, 2012).

É possível verificar o crescimento da MMP através de uma breve descrição e análise histórica sobre três indicadores da região: extensão territorial, população e Produto Interno Bruto (PIB). Em 2012 a MMP cobria uma extensão territorial de 49.927 km<sup>2</sup> (EMPLASA, 2012) atualmente, essa área é de 53.400 km<sup>2</sup> (EMPLASA, 2019). Por sua vez, em 2010 a região registrava uma população de 30 milhões de habitantes (EMPLASA, 2012) e hoje estima-se uma população por volta de 32 milhões (SEADE, 2019), sendo que em 2009 a região alcançou um PIB de R\$ 897.419.430 (EMPLASA, 2012) chegando em 2016 em R\$ 1.669.448.647 (IBGE, 2019).

Por fim, a região caracteriza-se por compor uma importância econômica substancial participando com 80% do PIB estadual e quase 30% do nacional (SECRETARIA DA CASA CIVIL, 2014), mas também enfrenta dificuldades particularmente em infraestrutura, mobilidade, logística, habitação e saneamento ambiental. O bom funcionamento desse sistema reflete-se na qualidade de vida de toda a população (SECRETARIA DA CASA CIVIL, 2014) e na demanda de energia desse território. O Quadro 1 apresenta um resumo com os principais indicadores da MMP, tais como área total da MMP, população total, PIB, IDH, consumo energético final, consumo energético per capita, capacidade instalada de geração de energia elétrica total e emissão de CO<sub>2</sub> per capita.

**Quadro 1-** Perfil e indicadores macroeconômicos da MMP

Indicador	Dado	Fonte
Área total MMP	53.400 km <sup>2</sup>	EMPLASA (2019)
População Total MMP	32.629.239 habitantes	SEADE (2019)
PIB total, a preços correntes (R\$ 1.000)	R\$ 1.669.448.647	IBGE (2016)

IDHM médio	0,75	Atlas Brasileiro do Desenvolvimento Humano (2010)
Consumo Final Energético	31,6 MTOE	SECRETARIA DE ENERGIA (2018)
Consumo Final Energético per capita	0,97 TOE/hab	SECRETARIA DE ENERGIA (2018); IBGE (2016)
Capacidade Instalada total	4.064 MW	Autores a partir de SECRETARIA DE ENERGIA (2018) e BIG Aneel.
Emissões de CO <sub>2</sub> per capita	1,7 tCO <sub>2</sub> /hab.	SECRETARIA DE ENERGIA (2018); IBGE (2016)

### *Pressupostos detalhados do levantamento de informações do Sistema Energético da MMP*

O levantamento de dados sobre o consumo de energia referentes aos 174 municípios foi realizado a partir das informações disponibilizadas no Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo para o período de 2006 a 2017 (SECRETARIA DE ENERGIA, 2007-2018). Os Anuários contêm informações referentes ao consumo dos seguintes recursos energéticos: energia elétrica, GN, etanol hidratado e derivados de petróleo (gasolina automotiva, gasolina de aviação, óleo diesel, óleo combustível, querosene de aviação, querosene de iluminação, gás liquefeito de petróleo- GLP, coque e asfalto).

Os resultados do levantamento e a análise dos dados são apresentados na seção Resultados. Com relação às informações sobre oferta de energia, foram utilizados os dados disponibilizados pela Aneel em seu Banco de Informações de Geração (BIG), sobre a capacidade instalada (CapInst) para geração de eletricidade dentro dos limites dos municípios da MMP, tais dados foram sistematizados nesse trabalho até o mês de junho de 2019.

Para determinar o potencial energético local de renováveis que pode ser explorado na MMP, foram considerados os seguintes recursos energéticos: solar PV, hídrico - potencial inventariado de PCH's na MMP, e biogás considerando o lodo do esgoto do processo de saneamento<sup>1</sup>. No entanto, uma análise completa sobre o sistema energético da região pelo lado da oferta também deveria prever a análise sobre os vários recursos de energia disponíveis na MMP (por exemplo, eólica para a produção de eletricidade; produção de biocombustíveis, através da cana-de açúcar e demais fontes de biomassa; ou mesmo o levantamento sobre os centros de transformação, refinarias e os recursos petroquímicos produzidos no território). Essa análise mais abrangente está fora do escopo desse artigo e é foco de estudos futuros. O resultado da sistematização dos dados sobre oferta de eletricidade na MMP é apresentado de forma agregada para a região.

1 - Outras formas e metodologias para cálculo para estimar expansão da oferta para biogás, solar e hídrica podem ser encontrados respectivamente em: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) / MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME), 2019 e em SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura de Ambiente (SIA), 2013).

## **Recursos Energéticos Renováveis- pressupostos utilizados para estimar possível expansão da oferta de energia renovável na MMP**

### *Energia solar fotovoltaica*

O potencial de produção de energia solar fotovoltaica estimado para a MMP concentrou-se na análise sobre geração distribuída. Nesse sentido, foram utilizados dados da ANEEL (2019c) acerca da capacidade média instalada em usinas fotovoltaicas na região (2012-2018) como método de definição da expansão do mercado para essa fonte. Dessa forma, tem-se que 97% das usinas de micro e minigeração PV na MMP foram instaladas no setor residencial e comercial (ANEEL, 2019a), por isso a avaliação do potencial restringe-se a esses dois setores.

Para calcular a expansão da oferta por PV foram utilizados os seguintes dados: posse da média de horas de sol pico (HPS) da MMP – número de horas de sol equivalente a uma hora padrão de 1.000W/m<sup>2</sup>; fator de conversão do Sistema Fotovoltaico (SFV)- residencial: 4,04 kWp e comercial: 17,9 kWp (BRASIL, 2019); uma taxa de potencial de mercado- residencial 16% com 12.673.946 unidades de consumo e comercial 0,5% com 810.542 unidades de consumo (SECRETARIA DE ENERGIA, 2018).

### *Recursos hídricos por PCH*

Para determinar o potencial ainda não explorado de uso dos recursos hídricos disponíveis na MMP, utilizou-se a base de dados disponibilizada no sítio eletrônico da ANEEL, na qual são consolidados os potenciais hidráulicos inventariados nos cursos de água, com possíveis eixos e respectivas potências não utilizados. Neste estudo, foram analisados apenas os potenciais da MMP caracterizados como PCH, ou seja, empreendimentos entre 5 MW e 30 MW já inventariados na região, que estão em fase de outorga a um empreendedor interessado, ou que se encontram com o eixo disponível (sem explorador pleiteando a outorga). Além disso, o estudo contabilizou os potenciais que já foram outorgados a empreendedores, porém ainda não foram construídos. Excluiu-se do estudo os potenciais menores que de 5 MW (ou seja, as Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGHs), uma vez que para instalação de tais empreendimentos, não são exigidos inventários ou autorizações prévias da ANEEL.

### *Biogás através do lodo do saneamento urbano*

O potencial para geração de biogás foi estimado para a região da MMP de forma agregada. Foram levantados os dados de volume de esgoto tratado por município em 2017 (unidade: 1000m<sup>3</sup>/ano) no Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) e de população total municipal em 2017 no IBGE. Cabe assinalar que não foram encontrados dados de volume de esgoto coletado para os seguintes municípios: Embu, Natividade da Serra, Potim e São José do Barreiro.

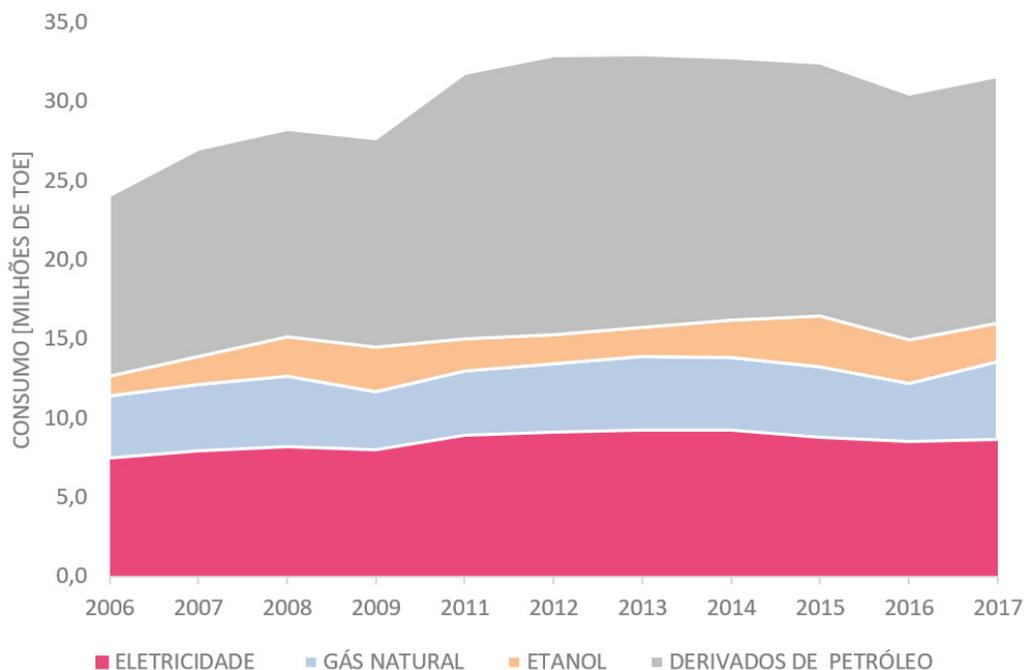
Os dados de volume de esgoto tratado por município foram somados resultando em

um total de 1.061.676.000 m<sup>3</sup>/ano de volume de esgoto tratado na MMP. Considerando uma equivalência entre a densidade da água e do esgoto, visto que, o esgoto sanitário é composto, majoritariamente, por água, que corresponde a cerca de 99,8% de sua composição volumétrica, e que 1m<sup>3</sup> de água é equivalente a 1 t de água. Procedeu-se a conversão de unidades e cálculo sobre o potencial de geração de energia através do uso do biogás proveniente do lodo esgoto segundo metodologia apresentada em SILVEIRA et al. (2015), no qual: a) poder calorífico do biogás de 23,3 MJ/m<sup>3</sup>; b) 1 t de lodo tem 70% de compostos orgânicos voláteis, dos quais 40% são de Sólidos Voláteis destruídos; c) a produção de biogás pode ser considerada como: 0,8m<sup>3</sup>/kg compostos orgânicos voláteis destruídos.

## Resultados

### *Demanda de energia na MMP*

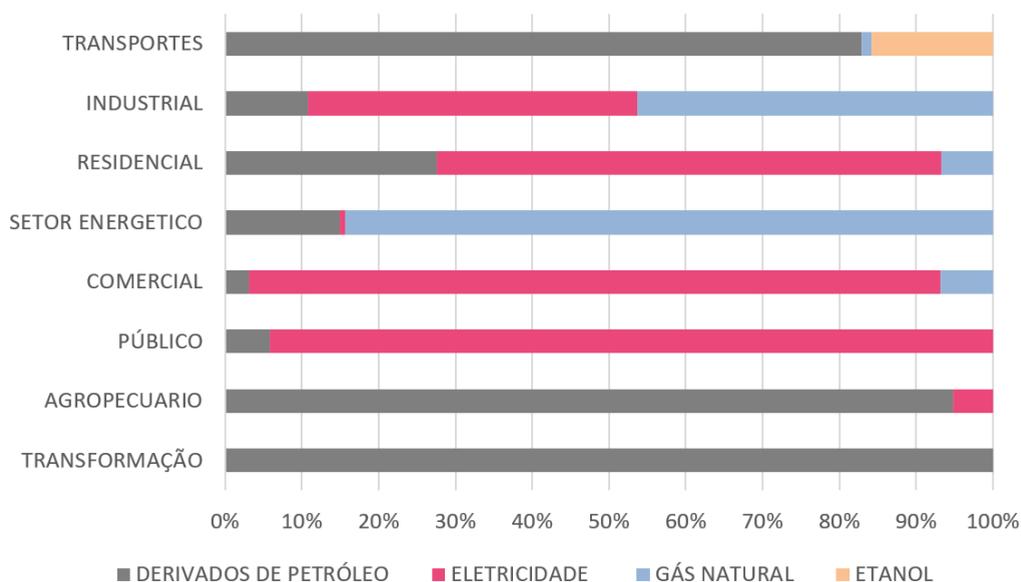
O Gráfico I apresenta a evolução do consumo anual (2006-2017) na MMP para eletricidade, GN, etanol hidratado e derivados de petróleo. Em 2017 a MMP consumiu 31,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (MTOE), dentre os quais, cerca de 50% compõem consumo de derivados de petróleo, seguida por eletricidade (~30% da demanda), GN com 16% e etanol com 8% de participação na demanda total. De acordo com a análise do período histórico (2006-2017) e sistematização dos dados disponibilizados pelos Anuários Estatísticos de Energéticos por Município (SECRETARIA DE ENERGIA, 2007-2018), o consumo de energéticos na MMP apresentou um crescimento de 30% na última década, representando 73% (31,6 MTOE/ano) do consumo total de todo estado de SP em 2017 (43,1 MTOE/ano).

**Gráfico I**– Evolução do Consumo de Energéticos na MMP de 2006 até 2017

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Anuários de Energéticos Municipais do estado de São Paulo (SECRETARIA DE ENERGIA, 2007-2018)

Para o período considerado, todas as fontes tiveram aumentos significativos de demanda; no entanto, o consumo de etanol apresentou o maior aumento na década (102% -1,22 MTOE); seguido pelo consumo de derivados de petróleo, cujo aumento foi de 36% (4,1 MTOE). Os derivados consumidos na região representaram 69% do consumo de todo o estado de SP em 2017 (15,5 MTOE). No cenário do último decênio, o consumo de coque, gasolina e gasolina de aviação foram aqueles com maior crescimento na região - 261,5 MTOE, 62% - 2026,6 MTOE e 61% - 962,6 MTOE, respectivamente. O querosene de iluminação, o óleo combustível e asfalto são os insumos energéticos que, por outro lado, figuram como os de maior queda de consumo, sendo elas da ordem de 98% - 4,16 MTOE/ano, 73% - 360,12 MTOE/ano e 50% - 147,1 MTOE/ano, respectivamente.

O Gráfico II apresenta o consumo de energéticos na MMP segmentados por setor. Os setores que mais demandaram energia em 2017 foram transporte com 49% - 15MTOE, seguido pelo setor industrial 25% - 7 MTOE e setor residencial com 12% - 3 MTOE, juntos os 3 setores representaram 86% do consumo total de energéticos da MMP em 2017.

**Gráfico II** – Consumo de Energéticos na MMP segmentados pelo setor de consumo

Fonte: elaborado pelos autores a partir de Anuários de Energéticos Municipais do estado de São Paulo (SECRETARIA DE ENERGIA, 2018).

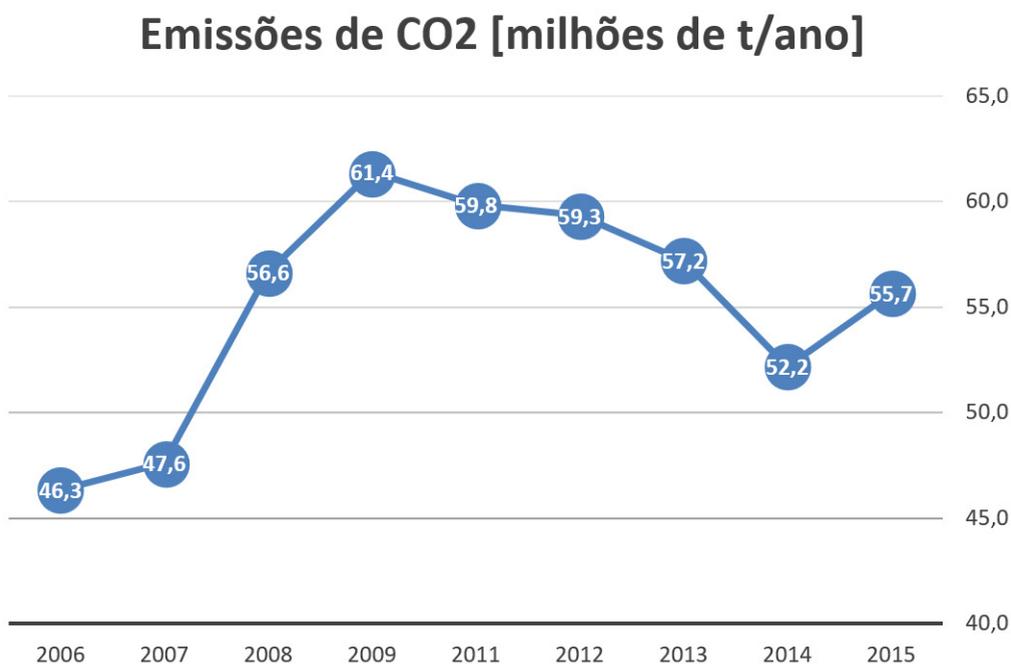
Em relação aos insumos energéticos associados ao consumo de derivados de petróleo, a gasolina automotiva e o óleo diesel representaram 69% (8.180.536,7 TOE) do seu consumo total. Ao realizar a extrapolação do consumo de derivados de petróleo por insumo energético para a análise setorial, observa-se que 82% (12,76 MTOE) de todo o consumo de derivados de petróleo na MMP no ano de 2017 ocorreu no setor de transportes, seguido pelo setor residencial (7%-1,9MTOE) e industrial (6% - 0,85MTOE). Por sua vez, no que diz respeito ao consumo de etanol, 100% do consumo apresentado nos anuários energéticos é atribuído ao setor de transporte. Importante destacar que esse valor é maior, uma vez que os anuários reportam apenas consumo de etanol hidratado. Cabe ainda ressaltar que o consumo de etanol anidro não foi computado em separado, mas está incorporado ao consumo da gasolina automotiva na proporção de 27% do total.

Em relação ao consumo de GN, no ano de 2017, o consumo da MMP representou 90% (4,9 MTOE) do consumo total verificado no estado de SP. O setor industrial foi responsável pelo maior consumo do insumo energético na região. O consumo de GN para geração termelétrica e cogeração foi classificado como consumo do setor energético uma vez que esse insumo foi usado para geração de energia elétrica. A geração termelétrica em 2017 foi responsável pela demanda de 9,4% de todo o consumo de GN da MMP (0,46 TOE) e representa 72% de todo o consumo da classe de energéticos. Finalmente, em relação ao consumo de eletricidade foi verificado que a demanda da MMP representou 78% - 8,7 MTOE do consumo estadual em 2017. Os setores industrial, residencial e comercial são, respectivamente, aqueles com mais significativa participação no consumo

final de eletricidade.

Sobre a distribuição do consumo de FER e não renováveis na MMP em 2017, conclui-se que no lado da demanda existe uma predominância do consumo de fontes fósseis de energia (70%-22,7 MTOE do consumo), enquanto o consumo de FER representou 30%, ou seja, 9,4 MTOE da demanda final por energia da MMP. Esse resultado é importante para a atualização das políticas do planejamento energético uma vez que aponta para a relevância sobre o entendimento de como se dá o uso da energia e o lado da demanda para o sucesso de implementação de políticas que visem a diminuição do consumo de recursos fósseis. Por fim, o Gráfico III apresenta o histórico de emissões de CO<sub>2</sub> na MMP no período de 2008 a 2017. Observa-se uma associação entre as oscilações de consumo de cada energético para o período, e um aumento/diminuição das emissões.

**Gráfico III** – Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> na MMP associadas ao consumo de energéticos



Fonte: elaborado pelos autores a partir de Anuários de Energéticos Municipais do estado de São Paulo (SECRETARIA DE ENERGIA, 2007-2018).

Convém assinalar que as emissões de CO<sub>2</sub> apresentadas dizem respeito somente ao consumo dos principais energéticos consumidos pelos 174 municípios da MMP – energia elétrica, etanol, derivados de petróleo e GN. Esses dados foram fornecidos pela SECRETARIA DE ENERGIA do estado de SP e não foram calculados pela presente pesquisa. Segundo a instituição, foram consideradas nulas as contribuições dos FER (bagaço, lenha, carvão vegetal, etc.), uma vez que o processo de fotossíntese retira da atmosfera uma

quantidade equivalente de carbono liberado na combustão dessas fontes. Dessa forma, o resultado de emissões totais para a MMP leva em consideração apenas os dados sobre a demanda dos seguintes energéticos: GN, Gasolina Automotiva e de Aviação, Óleo Diesel, Óleo Combustível, Querosene Iluminante e de Aviação, GLP, Coque de Petróleo e Asfalto.

### Oferta de Energia na MMP

A Tabela I apresenta os valores de CapInst para geração eletricidade existente na região da MMP por tipo de empreendimento de geração, recurso energético utilizado, capacidade instalada (kW) e número de unidades geradoras.

**Tabela I** - Capacidade Instalada, até 2019, para geração de eletricidade dentro da região da MMP

<u>Fontes Renováveis</u>	<u>CapInst (kW)</u>	<u>Número de usinas</u>
Usina Hidrelétrica	1.306.860	13
Pequena Central Hidrelétrica	164.998	16
Central Geradora Hidrelétrica	20.704	19
Central Geradora Eólica	2	1
Usinas de micro e minigeração EOL	34	5
Central Geradora Solar Fotovoltaica	1.236	8
Usinas de micro e minigeração UFV	28.530	4949
Usina Termelétrica- Bagaço de Cana	358.241	24
Usina Termelétrica- Biogás	67.766	8
Usina Termelétrica - Biomassa	60.007	4
<u>Total Renováveis</u>	<u>2.008.378</u>	<u>5047</u>
<u>Fontes Fósseis</u>	<u>CapInst (kW)</u>	<u>Número de usinas</u>
Usina Termelétrica - Calor de Processo	24.400	1
Usina Termelétrica - Carvão - RSU	2.700	1
Usina Termelétrica - Gás de Refinaria	204.730	3
Usina Termelétrica - Gás Natural	980.679	45
Usina Termelétrica - Óleo Combustível	213.358	5
Usina Termelétrica - Diesel	544.961	514
Usina Termelétrica - Outros derivados de petróleo	85.188	7
Usinas de micro e minigeração UTE	275	3

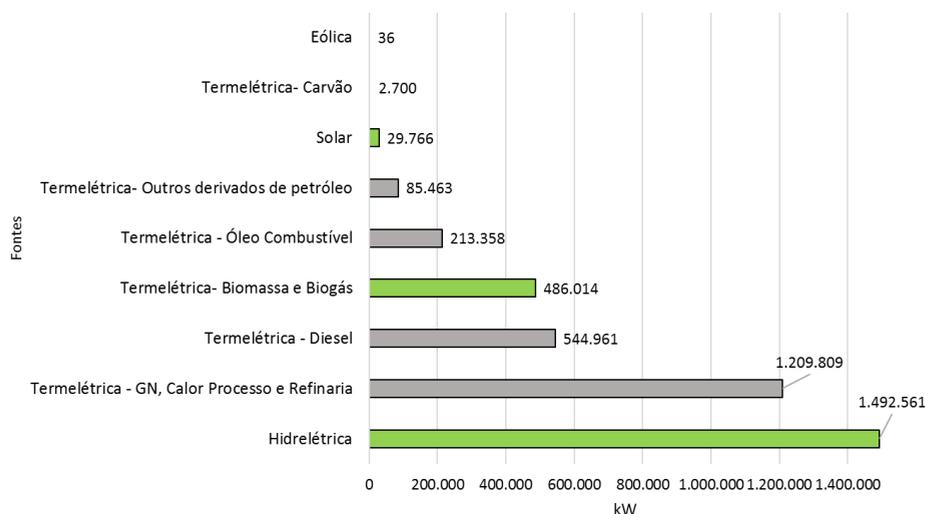
	<u>Total Fósseis</u>	2.056.291	579
<b>Total Renováveis e Fósseis</b>		<b>4.064.669</b>	<b>5626</b>

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponíveis no BIG (ANEEL, 2019a).

Em 2019 na MMP existiam 4GW de CapInst para geração de eletricidade correspondente a 17% da CapInst no estado de SP no mesmo ano - 23 GW (SECRETARIA DE ENERGIA, 2018). Importante apontar, no entanto, que os dados de ano base para CapInst descentralizada corresponde ao ano de 2019 e os demais correspondem ao ano de 2017. Ainda, tem-se que de toda a CapInst de termelétrica utilizando recursos fósseis instaladas no estado, 90%, ou seja, 2GW estão localizados na região da MMP. Essa é uma interessante constatação para a proposição de políticas de substituição de combustíveis fósseis para geração e de redução de emissões, uma vez que é possível que os habitantes da MMP sintam na saúde pública, os reflexos do uso de tais combustíveis.

O tipo de empreendimento de maior peso na MMP é o de termoeletrica, com 63% - 2,5 GW de CapInst, dos quais prevalece de maior potência as termelétricas que utilizam o GN como combustível - 1,2GW (Gráfico IV). O segundo tipo de empreendimento de maior CapInst é o de hidrelétricas (32%) que é também o recursos energético que detém a maior CapInst da região, somente o recurso hídrico tem uma potência instalada de 1,5 GW (Gráfico IV).

**Gráfico IV - Capacidade instalada MMP de acordo com tipos de empreendimentos e recursos de energia utilizados**



Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponíveis no BIG (ANEEL, 2019a).

Dos 174 municípios, apenas 4 cidades: Paulínia - 3% da CapInst total, Jacareí -

6%, São Paulo - 22% e Cubatão - 30%, contribuem juntas com 62% da CapInst total da região (ou seja, somam 2.510.432 kW dos 4.035.740 kW instalados na MMP). Por fim, no lado da oferta e considerando apenas a CapInst para geração de eletricidade, a região da MMP apresenta uma divisão bem equilibrada da capacidade instalada com utilização de recursos fósseis (51%) versus renováveis (49%). Os recursos energéticos de maior CapInst na região são o das 13 usinas hidrelétricas de grande porte - UHE (Tabela I), correspondendo a 1.306 MW e a 32% da participação na oferta energética da MMP.

O município que concentra a maior UHE é Cubatão (usina Henry Borden). Esse apontamento é importante para esclarecer que, o fato da MMP ter cerca de 4GW de potência instalada, não significa que todo esse potencial vem sendo explorado na região. De fato, precisamente a maior usina da região (Henry Borden com 889MW), opera desde 1992 (atendendo às condições estabelecidas na Resolução Conjunta SMA/SES 03/92, de 04/10/92, atualizada pela Resolução SMA-SSE-02, de 19/02/2010) com apenas 25% de seu potencial. Isso porque busca-se reduzir o acúmulo de poluição na Represa Billings, reservatório da usina (que abastece a cidade de São Paulo). Nesse sentido, essa pesquisa demonstrou através de seus resultados, a necessidade de conciliação entre os diversos tipos de planejamentos e de políticas, uma vez que o tratamento de problemas complexos como o próprio sistema de energia, demanda o desenvolvimento de soluções criativas, integradas, diversificadas, multisetoriais e multinível. A falta de coerência ou não observância/implementação das políticas ambientais por exemplo, está potencialmente impactando negativamente o uso ótimo das instalações de infraestrutura para geração de eletricidade, como é o caso da Usina Henry Borden.

Por fim, com os resultados sobre a estimativa da expansão da oferta de energias renováveis para solar - resultando em uma capacidade instalável de 8.264,4 MWp; hídrica - resultando em 171,02 MW de potência (capacidade instalável) que ainda podem ser explorados para geração de eletricidade de forma local; e de biogás do esgoto - totalizando 175,7MW de uma capacidade instalável, o estudo concluiu que seria possível aumentar em cerca de 112%, ou seja, poderiam ser adicionados cerca de 8611 MW de potência na MMP. Potencial inexplorado maior do que o vigente.

Cabe ressaltar que esse resultado diz respeito a análise do potencial de apenas três tipos de recursos: solar, PCH e biogás. Está ausente uma análise completa sobre os vários recursos energéticos disponíveis, tais como os recursos eólico e de biomassa. Também não foram consideradas projeções dos indicadores utilizados para o longo prazo, o que pode sub ou superestimar os valores obtidos. Sobre esse assunto, convém apontar que a melhor forma de estimar potenciais para exploração energética é a do levantamento de dados primários. No entanto, a pesquisa fez uso de dados secundários e agregados para a região como um todo.

## Conclusões

Desvendar os sistemas energéticos das cidades compõem uma agenda de pesquisa importante para a proposição de políticas públicas embasadas e contextualizadas. Os re-

sultados desse estudo demonstram que existe um grande espaço para o desenvolvimento de pesquisas na área de energia dentro da região da MMP. Nesse sentido, seria possível aumentar a capacidade instalada na região em cerca de 112%, ou seja, poderiam ser adicionados 4.547MW na MMP, potencial inexplorado maior do que o vigente e instalado.

Sobre a descrição do sistema energético da MMP, destacam-se os seguintes resultados, que são também respostas às perguntas orientadoras da pesquisa. Os recursos energéticos mais consumidos na região no período analisado foram os derivados de petróleo (cerca de 50% de participação na demanda final de energia) com destaque para o consumo de gasolina e diesel (com cerca de 35% de participação na demanda final de derivados de petróleo cada), eletricidade (30% da demanda final) e gás natural (15% da demanda final). Os setores econômicos mais demandantes são transporte com 49% da demanda final de energia, indústria 25% e setor residencial com 12% da demanda final de energia.

Verificou-se a importância dos estudos sobre os sistemas energéticos urbanos para a formulação de políticas públicas, energéticas e ambientais que busquem de fato propor medidas e estratégias para mitigação do aquecimento global, isso porque as políticas brasileiras atuais do Planejamento Energético, cujo foco é a oferta de eletricidade através da expansão do sistema hidroelétrico e termelétrico, não contemplam uma análise dos usos finais da energia pelo lado da demanda. Foi evidenciado por esse estudo que o maior uso de fontes fósseis de energia está no lado da demanda (70% do consumo final) e não no lado da oferta. Esse é um resultado inédito desta pesquisa. Por isso, asseveramos que uma forma dos governos locais se organizarem para atuar em mitigação e adaptação às mudanças climáticas é justamente o de entendimento de seus sistemas de energia urbanos e o desenvolvimento de planejamento energético urbano. Para tanto, o primeiro passo é providenciar pesquisas e levantamentos de dados, medições e verificações, sem os quais o processo de Planejamento, ou seja, o exercício de antecipar-se a problemas futuros, torna-se apenas um exercício de prospecção de desejos.

A literatura sobre a governança multinível ressalta que as mudanças climáticas devem e podem ser trabalhadas nas várias instâncias governamentais e sociais. Este artigo mostrou que governos locais, se quiserem participar ativamente de iniciativas sustentáveis, devem atuar no levantamento de informações e desenvolvimento de diagnósticos, dos quais convém destacar o conhecimento sobre os seus sistemas de energia urbanos. Assim como, as iniciativas e ações a favor do clima realizadas nas cidades poderiam potencialmente aumentar a confiança dos governos regionais e nacionais para estabelecer metas mais ambiciosas de redução de emissões de GEE e buscar estratégias sustentáveis de baixo carbono. Essas dinâmicas de políticas entre cidades e demais níveis governamentais são de importância crucial para a resposta global às mudanças climáticas e precisam ser estudadas com mais detalhes. Deste modo, futuros estudos podem estar direcionados à medição e verificação dos processos de planejamento local e suas implicações no âmbito regional e nacional.

## Agradecimentos:

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 15/03804-9. Benites-Lazaro, Lira Luz agradece o apoio da FAPESP processo nº 17/17796-3, e processo nº 19/24479-0. Lampis, Andrea agradece o apoio da FAPESP processo nº 2018/17626-3.

## Referências

ALLEN, A.; DAVILA, J.; HOFMANN, P. Agua y saneamiento en la interfaz periurbana: Un vistazo a cinco estudios de caso. **Cuadernos del CENDES**, v. 22, n. 59, p. 23–44, 2005.

ANEEL, 2019a. **Banco de Informações de Geração (BIG) website**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Último acesso em: 20/08/19.

ANEEL, 2019b. **Outorgas e Registros de geração website**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/outorgas>>. Último acesso em: 20/08/19.

ANEEL, 2019c. **Unidades consumidoras com Geração Distribuída**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>>. Último acesso em 20/08/2019.

ANEEL. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL: Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017.

BALAT, M. Usage of energy sources and environmental problems. **Energy exploration & exploitation**, 23(2), p.141-167, 2005.

BAZILIAN, M., et al. Energy governance and poverty. **Energy Research & Social Science**, 1, p. 217-225, 2014.

BENITES-LAZARO, L. L., et al. Governança e desenvolvimento sustentável: a participação dos stakeholders locais nos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no Brasil. **Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía**, 27(2), p. 227-241, 2018b. <http://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.66336>

BENITES-LAZARO, L. L., et al. Topic modeling method for analyzing social actor discourses on climate change, energy and food security. **Energy research & social science**, 45, p. 318-330, 2018a.

BEVIR, M. **Governance: A very short introduction**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>> Acesso em: 13 de ago.2019

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil: Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia: Versão PDE 2027**. Rio de Janeiro, RJ, 2018.

CARRASCO, J. M. et al. Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey. **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS**, v. 53, n. 102, p. 1002–1016, 2004.

COLLAÇO, F. M. A. et al. The dawn of urban energy planning – synergies between energy and urban planning for São Paulo (Brazil) megacity. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 458–479, 2019a.

COLLAÇO, F. M. A. et al. What if São Paulo (Brazil) would like to become a renewable and endogenous energy -based megacity? **Renewable Energy**, v. 138, p. 416–433, 2019b.

DAVIS, M., BENZIE, M., BARROTT, J. **Introducing the Transnational Climate Impacts Index: indicators of country-level exposure – methodology report**. Stockholm Environment Institute, 2016.

DI GREGORIO, Monica et al. Multi-level governance and power in climate change policy networks. **Global Environmental Change**, v. 54, p. 64-77, 2019.

ELBARADEI, M. **A global agency is needed for the energy crisis**. Financial Times, p.23, 2008.

EMPLASA, 2019. Website EMLASA. **Dados sobre a MMP** Disponível em: <<https://emplasa.sp.gov.br/MMP>>. Último acesso em: 20/08/19.

EMPLASA. **Macrometrópole Paulista**. 1a. ed. São Paulo: Emplasa - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA, 2012.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN 2018 - Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **INFORME À IMPRENSA Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2027**. Rio de Janeiro: 2018.

ESCRIBANO, G. Fragmented energy governance and the provision of global public goods. **Global Policy**, 6(2), 97-106, 2015.

FUDGE, Shane; PETERS, Michael; WOODMAN, Bridget. Local authorities as niche actors: The case of energy governance in the UK. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 18, p. 1-17, 2016.

FUHR, Harald; HICKMANN, Thomas; KERN, Kristine. The role of cities in multi-level climate governance: local climate policies and the 1.5 C target. **Current opinion in environmental sustainability**, v. 30, p. 1-6, 2018.

GEELS, Frank W.; KEMP, René. The multi-level perspective as a new perspective for studying socio-technical transitions, in Geels et al (Eds) *Automobility in Transition? A socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*, Routledge, New York, pp. 49-79.2012

GIROTTI, C. *Modelagem dos parâmetros da forma urbana para a maximização de geração de energia solar fotovoltaica no ambiente urbano em adensamento e verticalização: estudo de caso do Belenzinho, em São Paulo*. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 118 p., 2019.

GOLDEMBERG, J., LUCON, O. *Energia Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 3 edição, 400p., EDUSP: 2012.

HEUBAUM, H., BIERMANN, F. Integrating global energy and climate governance: The changing role of the International Energy Agency. *Energy Policy*, 87, p. 229-239, 2015.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016. Website IBGE. **Produto Interno Bruto dos municípios em 2016**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?t=publicacoes>>. Último acesso em: 20/08/19

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em Síntese**. Panorama. IBGE, 2010.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018. **IEA Website, World Energy Outlook 2018**. Disponível em: <<https://www.iea.org/newsroom/news/2018/november/world-energy-outlook-2018-examines-future-patterns-of-global-energy-system-at-a-t.html>>. Último acesso em 20/08/19.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy & CO2 Status Report: Emissions**. Paris: OECD/IEA, 2019.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy and climate change: World energy outlook special report**. Paris: OECD/IEA, 2015. Retrieved from: [www.iea.org](http://www.iea.org)

ITAIPU, 2015. **Website da Usina de Itaipu**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>>. Último acesso em: 08/12/15.

JACOBI, P. R.; TRANI, E. **Planejando o futuro hoje: ODS 13, Adaptação e Mudanças Climáticas em São Paulo**. São Paulo: IEE-USP, 2019.

JÄNICKE, Martin; QUITZOW, Rainer. Multi-level Reinforcement in European Climate and Energy Governance: Mobilizing economic interests at the sub-national levels. *Environmental Policy and Governance*, v. 27, n. 2, p. 122-136, 2017.

KERN, Kristine; BULKELEY, Harriet. Cities, Europeanization and multi-level governance: governing climate change through transnational municipal networks. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, v. 47, n. 2, p. 309-332, 2009.

LEHTOLA, T.; ZAHEDI, A. Solar energy and wind power supply supported by storage technology: A review. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, n. May, p. 25–31, 2019.

LIANG, X.; MAZIN, H. E.; REZA, S. E. Probabilistic generation and transmission planning with renewable energy integration. 2017 IEEE/IAS 53rd **Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)**, p. 1–9, 2017.

LOVINS, A. B. **Reinventando o fogo: Soluções ousadas de negócios na nova era da energia**. 1o ed. São Paulo: Editora Cultrix, 2013.

MARINS, K. R. D. C. C. A method for energy efficiency assessment during urban energy planning. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 2, p. 132–152, 2014.

MARINS, K. R. D. C. C.; ROMÉRO, M. DE A. Urban and Energy Assessment from a Systemic Approach of Urban Morphology, Urban Mobility, and Buildings: Case Study of Agua Branca in Sao Paulo. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 140, n. 3, p. 402–408, 2014.

MELICA, Giulia et al. Multilevel governance of sustainable energy policies: The role of regions and provinces to support the participation of small local authorities in the Covenant of Mayors. **Sustainable cities and society**, v. 39, p. 729-739, 2018.

NOTTON, G. et al. Intermittent and stochastic character of renewable energy sources: Consequences, cost of intermittence and benefit of forecasting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 87, n. February, p. 96–105, 2018.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar (2a edição)**. São José dos Campos: Inpe, 2017.

PRASAD, A. A.; TAYLOR, R. A.; KAY, M. Assessment of solar and wind resource synergy in Australia. **Applied Energy**, v. 190, p. 354–367, 2017.

QGIS, 2019. Website. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/site/>>. Último acesso em: 20/08/19.

REHMAN, M. U., RASHID, M. Energy consumption to environmental degradation, the growth appetite in SAARC nations. **Renewable energy**, 111, p. 284-294, 2017.

RHODES, R. The new governance: governing without government. **Political Studies**, 46, p. 652-667, 1997.

ROSLAN, M. F. et al. Microgrid control methods toward achieving sustainable energy management. **Applied Energy**, v. 240, n. October 2018, p. 583–607, 2019.

SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura de Ambiente (SIA). **Energia Solar Paulista: levantamento do potencial**. 2013. Disponível em: <[http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portal-cev2/intranet/BiblioVirtual/renovaveis/atlas\\_energia\\_solar.pdf](http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portal-cev2/intranet/BiblioVirtual/renovaveis/atlas_energia_solar.pdf)> SEADE, 2019.

Website SEADE. **Análise de dados estatísticos, dados populacionais**. Disponível em: <<http://>>

[www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas](http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas)>. Acesso em: 21/08/19

SCHAKEL, Arjan H.; HOOGHE, Liesbet; MARKS, Gary. **Multilevel governance and the state**. The Oxford handbook of transformations of the state, p. 269-285, 2015.

SECRETARIA DA CASA CIVIL. **Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013-2040: política de desenvolvimento da macrometrópole**. Volume 1, ed. São Paulo: EMPLASA, 2014.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2008 ano base 2007**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2008.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2009 ano base 2008**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2009.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2010 ano base 2009**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2010.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2011 ano base 2010**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2011.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2012 ano base 2011**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2012.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2013 ano base 2012**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2013.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2014 ano base 2013**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2014.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2015 ano base 2014**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2015.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2016 ano base 2015**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2016.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2017 ano base 2016**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2017.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2018 ano base 2017**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2018.

SECRETARIA DE ENERGIA. **Energia Solar Paulista, levantamento do potencial**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2013

SECRETARIA DE ENERGIA. **Balço Energético do Estado de São Paulo 2018 ano base 2017**. Governo do Estado de São Paulo, São Paulo: 2018.

SELLERS, JEFFEREY AND KWAK, SUN-YOUNG (2011) 'State and Society in Local Gover-

nance: Lessons From a Multilevel Comparison', **International Journal of Urban and Regional Research**, 2011.

SILVEIRA, B. et al. **Guia Técnico de Aproveitamento de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto**, 2015.

SOARES, R. S. **A difusão da Geração Distribuída Fotovoltaica na Macrometrópole Paulista**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, p. 152, 2019.

SOVACOOOL, B., FLORINI, A. Examining the complications of global energy governance. **Journal of Energy & Natural Resources Law.**;30(3),p. 235–263, 2012.

UNITED NATIONS HABITATS. **New Urban Agenda**. United Nations, 2017.

URRY, J. Consuming the planet to excess. **Theory, Culture & Society**,27(2-3), p. 191-212, 2010.

VAN DE GRAAF, T.; COLGAN, J. Global energy governance: a review and research agenda. **Palgrave Communications**, 2(1), 2016.

VAN KERSBERGEN, K., VAN WAARDEN, F. 'Governance' as a bridge between disciplines: Cross-disciplinary inspiration regarding shifts in governance and problems of governability, accountability and legitimacy. **European journal of political research**, 43(2), p. 143-171, 2004.

WEBB, J.; HAWKEY, D.; TINGEY, M. Governing cities for sustainable energy: The UK case. **Cities**, v. 54, p.

WESTMAN, Linda Katrin; BROTO, Vanesa Castán; HUANG, Ping. Revisiting multi-level governance theory: Politics and innovation in the urban climate transition in Rizhao, China. **Political Geography**, v. 70, p. 14-23, 2019.

**Flávia Mendes de Almeida Collaço**

✉ [flavia.collaco@usp.br](mailto:flavia.collaco@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4277-9043>

Submetido em: 04/09/2019

Aceito em: 19/04/2020

2020;23:e01761

**Raiana Schirmer Soares**

✉ [raianaschirmer@usp.br](mailto:raianaschirmer@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2551-1440>

**João Marcos Mott Pavanelli**

✉ [joaomarcos@usp.br](mailto:joaomarcos@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6330-9799>

**Lira Luz Benites Lázaro**

✉ [lbenites@usp.br](mailto:lbenites@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6587-1497>

**Guilherme Massignan Berejuk**

✉ [berejuk@usp.br](mailto:berejuk@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5162-1040>

**Andrea Lampis**

✉ [alampis@usp.br](mailto:alampis@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1561-5409>

**Célio Bermann**

✉ [cbermann@iee.usp.br](mailto:cbermann@iee.usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1759-7523>

**Como citar:** COLLAÇO, F. M. A; SOARES, R.S; PAVANELLI, J. M. M; BENITES-LAZARO, L. L; BEREJUK, G. M; LAMPIS, A; BERMANN, C. Identificação do Sistema Energético da Macrometrópole Paulista: primeiro passo para uma atuação local em Mudanças Climáticas. . **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 23, p. 1-24, 2020.

# Identificación del Sistema Energético del Macrometrópole Paulista: primer paso para la acción local en Cambio Climático.

Flávia Mendes de Almeida Collaço  
Raiana Schirmer Soares  
João Marcos Mott Pavanelli  
Lira Luz Benites-Lazaro  
Guilherme Massignan Berezuk  
Andrea Lampis  
Célio Bermann

São Paulo. Vol. 23, 2020

*Tema en Destaque:  
Urbanización, Planificación y Cambio Climático*

**Resumen:** Este artículo analiza la oferta y la demanda de energía, así como las opciones para aprovechar el potencial energético local en la Macrometrópolis Paulista con base en el uso de fuentes renovables. Se realizó un estudio que abarca los 174 municipios de la Macrometrópolis para identificar el Sistema de Energía de esa región mediante la construcción de un banco de datos sobre el consumo y el suministro de energía (2006-2017), así como sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados indican que en 2017 la región consumió el 73% de la demanda total de energía del estado de São Paulo y posee, dentro de sus límites administrativos, alrededor del 17% de la capacidad instalada total para la generación de electricidad del estado. Sin embargo, sería posible aumentar en un 112% dicha capacidad instalada. Se concluye que la comprensión de los sistemas energéticos locales es indispensable para la formulación de políticas públicas coherentes e integradas, necesarias para hacer frente al cambio climático.

**Palabras-clave:** Sistema energético; Macrometrópolis Paulista; Cambio Climático; Gobernanza Energética.

**Como citar:** COLLAÇO, F. M. A.; SOARES, R. S.; PAVANELLI, J. M. M.; BENITES-LAZARO, L. L. B.; BEREJUK, G. M.; LAMPIS, A.; BERMANN, C. Identificación del Sistema Energético del Macrometrópole Paulista: primer paso para la acción local en Cambio Climático. . *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-24, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0176r1vu2020L6TD>

# Understanding the Energy System of the Paulista Macrometropolis: first step in local action toward climate change

Flávia Mendes de Almeida Collaço  
Raiana Schirmer Soares  
João Marcos Mott Pavanelli  
Lira Luz Benites-Lazaro  
Guilherme Massignan Berejuk  
Andrea Lampis  
Célio Bermann

São Paulo. Vol. 23, 2020

*Feature Topics: Urbanization, Planning and Climate Change*

**Abstract:** This paper analyzes the historical trends in the energy supply and demand for the Macrometrópole Paulista Energy System, as well as the existing options for harnessing the renewable energy potential of the region. The research included a case study covering the 174 municipalities that belong to the macro-metropolis to characterize the energy system from 2006 to 2017 while analyzing the CO<sub>2</sub> emissions of the system. The results indicated that, in 2017, the Paulista macro-metropolis accounted for 73% of the total energy demand of the entire state of São Paulo. Moreover, considering the energy generated from within the administrative limits of the 174 municipalities, the macro-metropolis accounted for about 17% of the total installed capacity of the state for electricity generation. This study found that the installed capacity for electricity generation in the region can be increased by ~ 112%. There so, an understanding of the local energy systems is of utmost importance for the formulation of coherent and integrated public policies, which are necessary to cope with the effects of climate change.

**Keywords:** Energy System; Paulista Macrometropolis; Climate Change; Energy Governance.

**How to cite:** COLLAÇO, F. M. A.; SOARES, R.S; PAVANELLI, J. M. M; BENITES-LAZARO, L. L B; BEREJUK, G. M; LAMPIS, A; BER-MANN, C. Understanding the Energy System of the Paulista Macro-metropolis. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-23, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0176r1vu2020L6TD>