



Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo
ISBN - 978-85-68242-80-3

EIXO TEMÁTICO:

- (X) Acessibilidade e Mobilidade Urbana
- () Ambiente Construído e Sustentabilidade
- () Arquitetura da Paisagem
- () Arquitetura, Patrimônio e a Identidade Cultural
- () Cidade e Meio Ambiente
- () Cidades Inteligentes e Sustentáveis
- () Espaços Livres de Uso Público
- () Mudanças Climáticas e a Resiliência Urbana
- () Plano Diretor e os Instrumentos de Política Urbana
- () Políticas Públicas e Programas Habitacionais
- () Projetos, Intervenções e Requalificações na Cidade Contemporânea
- () Rios e Paisagens Urbanas
- () Saneamento Ambiental
- () Inovações e Tecnologias Sustentáveis

Implantação de soluções de transporte de Baixo Carbono na cidade de São Paulo

Implantation of low carbon transport solutions in the city of São Paulo

Implementación de soluciones de transporte de Bajo Carbono en la ciudad de São Paulo

Cristiano Catto Segantin

Mestrando, Uninove, Brasil.
csegantin@gmail.com

Heidy Rodriguez Ramos

Professora Doutora, Uninove, Brasil.
heidyr@gmail.com

RESUMO

A sustentabilidade vem sendo cada vez mais necessária para o crescimento das cidades, tendo como principal motivador o aumento da população urbana. O setor de transporte é um dos maiores responsáveis pela emissão de gases nocivos para o meio ambiente e consumidor de derivados de petróleo. É por isso que começam a surgir várias iniciativas para minimizar esses impactos, por exemplo, a partir do desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono. O artigo tem como objetivo analisar as alternativas para implantação de soluções de transporte de Baixo Carbono na cidade de São Paulo. Para tanto, foi feita uma pesquisa bibliográfica. Também é levada em consideração a nova concessão das operadoras que está aberta e prevê a redução dos gases de efeito estufa, que está baseada na nova Lei Nº 16.802, aprovada no início de 2018. Essa lei considera uma meta ousada para redução dos gases emitidos pelos ônibus municipais da cidade de São Paulo, e com isso, os fabricantes nacionais e os novos entrantes desse mercado, devem considerar novas alternativas para ajudar no atingimento dessa meta.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte Público. Baixo Carbono. Emissões de Gases.

ABSTRACT

Sustainability is becoming increasingly necessary for the growth of cities, with the main motivation being the increase of the urban population. The transportation sector is one of the major responsible for the emission of gases harmful to the environment and consumer of petroleum derivatives. That is why a number of initiatives are beginning to emerge to minimize these impacts, for example, from the development of low carbon technologies. The article aims to analyze the alternatives for the implementation of Baixo Carbono transport solutions in the city of São Paulo. For this, a bibliographical research was done. It also takes into account the new concession of the operators that is open and provides for the reduction of greenhouse gases, which is based on the new law No. 16.802, approved at the beginning of 2018. This law considers a bold goal to reduce the gases emitted by the municipal buses of the and with this, the domestic manufacturers and the new entrants of this market, must consider new alternatives to help in achieving this goal.

KEYWORDS: Public Transport. Low carbon. Gas Emissions.

RESUMEN

La sostenibilidad es cada vez más necesaria para el crecimiento de las ciudades, teniendo como principal motivador el aumento de la población urbana. El sector de transporte es uno de los mayores responsables por las emisiones de gases nocivos para el medio ambiente y es consumidor de derivados de petróleo. Es por eso que empiezan a surgir varias iniciativas para minimizar esos impactos, por ejemplo, a partir del desarrollo de tecnologías de bajo carbono. Este artículo tiene como objetivo analizar las alternativas para implantación de soluciones de transporte de Bajo Carbono en la ciudad de São Paulo. Para ello, se realizó una investigación bibliográfica. También se tiene en cuenta la nueva concesión de las operadoras que está abierta y prevé la reducción de los gases de efecto invernadero, que está basada en la nueva ley No.16.802, aprobada a principios de 2018. Esa ley considera una meta osada para la reducción de los gases emitidos por los autobuses municipales de la ciudad, en la ciudad de São Paulo, y con ello, los fabricantes nacionales y los nuevos entrantes de ese mercado, deben considerar nuevas alternativas para ayudar en el logro de esa meta.

PALABRAS CLAVE: Transporte Público. Bajo Carbono. Emisiones de Gases.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas do século XX, havia uma crescente preocupação com a poluição nas grandes cidades, e em particular sobre a grande contribuição das fontes de transporte rodoviário para este problema (MCNICOL; RAND; WILLIAMS, 2001). A população urbana do mundo tem crescido rapidamente de 751 milhões em 1950 para 4,2 bilhões em 2018. Atualmente, as regiões mais urbanizadas incluem a América do Norte (com 82% de população vivendo em áreas urbanas em 2018), América Latina e Caribe (81%), Europa (74%), Oceania (68%), Ásia (50%) e África (43%) (ONU, 2018).

Esse fator contribui para uma pressão enorme sobre as cidades, que não possuem os recursos e infraestrutura para sustentar essas grandes concentrações de população. As cidades do mundo são responsáveis por mais de dois terços da procura de energia primária e são responsáveis por mais de 70% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). O setor de transporte é responsável por 23% das emissões de GEE relacionadas com as energias globais, e ainda é considerado o primeiro em uso de produtos de petróleo - 64,5% do petróleo consumido em 2014 (IEA, 2016). Na geração de energia no Brasil, o interesse cresce a cada dia, para melhor aproveitar os recursos disponíveis. A energia elétrica produzida provém de usinas hidrelétricas (cerca de 95%). Em regiões rurais e mais distantes das hidrelétricas centrais, tem-se utilizado energia produzida em usinas termoelétricas e também em menor quantidade, a energia eólica. As fontes alternativas de energia elétrica que estão sendo melhoradas e introduzidas são: hídrica, térmica, nuclear, geotérmica, eólica, marés, fotovoltaica, etc. (MOREIRA ET AL., 2012).

No tocante à temática relacionada ao setor transportes, o Plano Nacional de Energia (PNE) destaca dois pontos importantes, o primeiro está relacionado com a mobilidade urbana e o segundo com o transporte de cargas. Em relação à mobilidade urbana e às tecnologias aplicáveis, destaca-se a eletrificação do sistema de transportes, com a temática que aborda o futuro da mobilidade urbana no Brasil. Nesse contexto, o exercício de prever cenários do futuro é, por certo, bastante desafiador para o planejador energético, pelas características intrínsecas do setor energético. As decisões precisam ser tomadas com bastante antecedência, de modo que as condições adequadas estejam presentes para incentivar que determinadas opções estejam disponíveis para a sociedade no momento em que for preciso. Incluem-se aí, por exemplo, a formação de recursos humanos, a viabilização comercial de tecnologias, a transformação de ambiente regulatório e até mesmo, as transformações de hábitos de consumo, embora esses últimos apresentem especial dificuldade a mudanças de padrões de consumo (EPE, 2016).

A Grande São Paulo, que além da capital envolve 39 municípios vizinhos, tem a maior rede de trilhos do país, mas o principal modal de transporte coletivo de passageiros é o ônibus. Na cidade de São Paulo não é diferente, em 2016, considerando-se o sistema estrutural e local, o volume transportado de usuários de ônibus foi de aproximadamente 8 milhões de passageiros/dia (SPTRANS, 2016). Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam uma

população de 12.038.175 na cidade de São Paulo, e estima-se que são transportados em ônibus cerca de 67% da população/dia (IBGE, 2016).

Para ajudar na redução de emissões de gases efeito estufa, as alternativas de transporte público de Baixo Carbono, são consideradas de grande potencial, pelos seus benefícios ambientais. Portanto, o objetivo deste artigo é analisar as alternativas para implantação de soluções de transporte de Baixo Carbono na cidade de São Paulo.

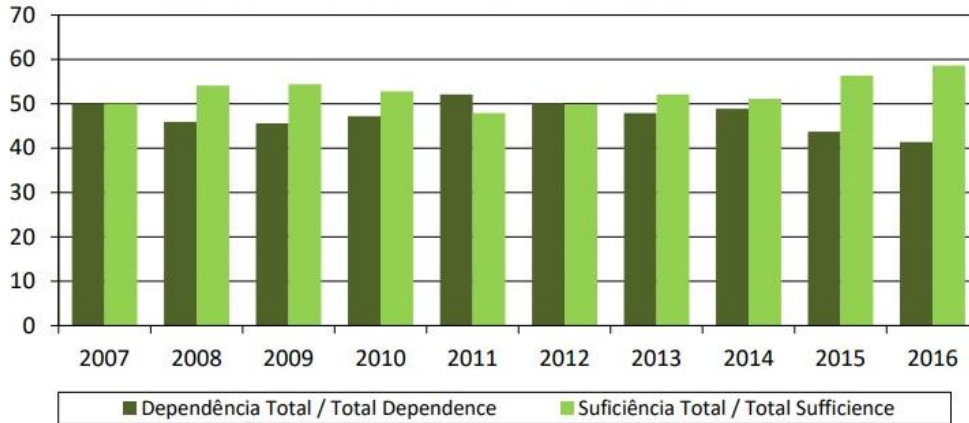
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Balanço Energético do Brasil

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que corresponde a 68,1% da oferta interna. As fontes renováveis representam 81,7% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional somada as importações, que são essencialmente de origem renovável (BEN, 2017). Em termos energéticos, os resultados obtidos pelo Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP), no ano base de 2016, foi um crescimento da energia primária que apresentou um aumento na oferta de gás natural, energia hidráulica e a da lixívia (BEESP, 2017). A participação das energias renováveis na Oferta Interna Bruta de Energia (OIE) foi de 60,8%. A participação das energias não renováveis na OIE foi de 39,2% (BEESP, 2017). Com esses indicadores São Paulo tem uma matriz de energias renováveis que pode ajudar na implementação de ônibus elétrico, fazendo com que desde a sua geração até o uso dessa energia no veículo, tenhamos a geração de 0% de emissões de GEE.

A suficiência de energia em 2016 foi de 52,6% do uso total do Estado, superior 5,2% em relação ao ano anterior. Entende-se por suficiência de energia como sendo a operação algébrica entre a demanda por energia (consumo + transformação + perdas) menos importações mais variações de estoques menos exportações, como demonstra a figura 1. No último ano, houve um acréscimo devido, principalmente ao aumento da quantidade de cana-de-açúcar processada no Estado de São Paulo (BEESP, 2017).

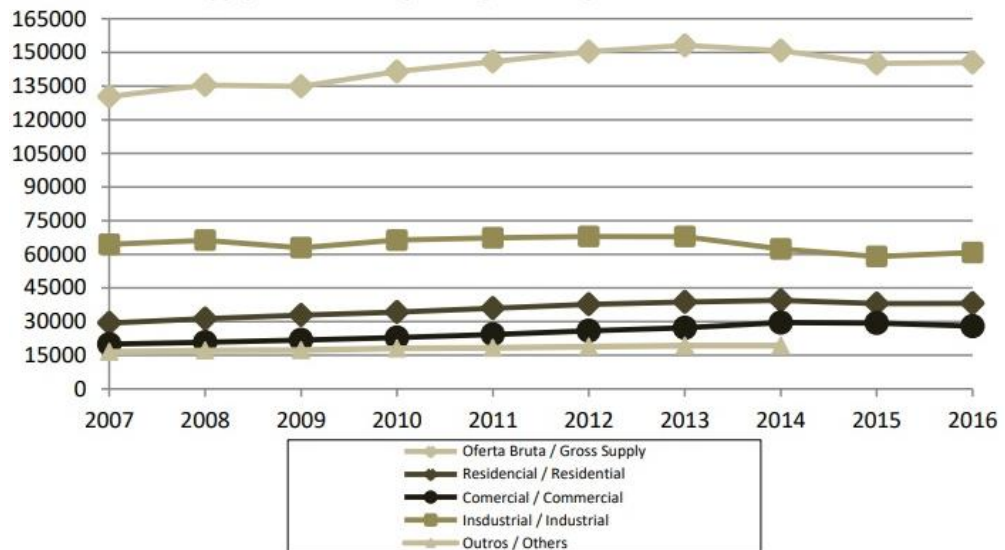
Figura 1: Evolução da Suficiência / Dependência Energética



Fonte: BEESP, 2017.

Conforme mostra a figura 2, o consumo da eletricidade vem sofrendo pequenas oscilações nos últimos anos e a oferta está acima da expectativa de consumo, sendo assim, é possível considerar uma demanda disponível para o crescimento de consumo, e São Paulo pode utilizar-se de novas tecnologias para usufruir dessa demanda.

Figura 2: Evolução da Oferta e do Consumo de Eletricidade



Fonte: BEESP, 2017.

2.2 Mobilidade Urbana

O padrão de mobilidade urbana da população brasileira vem passando por fortes modificações desde meados do século passado, reflexo principalmente do intenso e acelerado processo de urbanização e crescimento desordenado das cidades, além do uso cada vez mais intenso do transporte motorizado individual pela população (IPEA, 2016).

Por sua vez, os governantes vêm sendo bastante cobrados pela população no sentido de adotar políticas públicas efetivas que promovam a melhoria das condições de mobilidade das pessoas e a redução dos custos dos deslocamentos urbanos, principalmente os deslocamentos que utilizam transporte público coletivo. É obrigação do poder público buscar um sistema de mobilidade mais igualitário do ponto de vista social, com sustentação financeira e ao mesmo tempo sem excluir os mais pobres, além de gerar o mínimo de externalidades negativas possíveis (IPEA, 2016).

O deslocamento das pessoas é um elemento estruturador da vida socioeconômica das cidades e reúne as movimentações realizadas por meios de transporte individuais ou coletivos, públicos ou particulares, motorizados ou não motorizados, permitindo à população o acesso às suas necessidades sociais e econômicas básicas. É por meio do transporte de passageiros e da sua eficiência e harmonia entre os vários sistemas de transporte e circulação, que se atinge a integração social das cidades. Destaca-se ainda que uma das consequências negativas de maior impacto social resultante dos problemas da mobilidade urbana é o considerável tempo gasto no deslocamento casa-trabalho-casa (CNT, 2002).

A expansão das cidades fez com que o transporte coletivo assumisse um papel essencial no deslocamento das pessoas dentro do ambiente urbano. Em geral, duas principais tecnologias são utilizadas no transporte público urbano: os veículos movidos sobre pneus e os veículos sobre trilhos (FERRAZ, 2004).

O período entre 1996 e 2016 foi muito rico no âmbito da mobilidade urbana no Brasil (ANTP, 2017). Na legislação, tiveram a promulgação de várias leis, que impactaram nas condições reais da mobilidade urbana. As principais leis foram:

- **Estatuto das Cidades**

A Lei nº 10.257 de 2001, Torna obrigatório a todos os municípios com mais de 20 mil habitantes a realização de um Plano Diretor para a cidade. Define a obrigatoriedade de ordenação e controle do uso do solo e de garantir o acesso ao transporte e sua oferta de acordo com os interesses e as necessidades da população (Brasil, 2001).

- **Lei de Mobilidade Urbana**

Em janeiro de 2012 foi sancionada a Lei de Mobilidade Urbana que definiu as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, atribui prioridade aos meios de transporte não motorizados e ao serviço público coletivo e inclui a possibilidade legal de aplicar restrições ao

uso de automóveis. Foi a primeira lei abrangente sobre o tema dentro da perspectiva da equidade e da sustentabilidade (Lei nº 12.587, 2012).

- **Estatuto da Metrópole**

Define que o planejamento, a gestão e a execução das funções públicas que são comuns em regiões metropolitanas com o apoio da União a ações que envolvam governança interfederativa no campo do desenvolvimento urbano. Também é definido no artigo 10, que “As regiões metropolitanas e as aglomerações urbanas deverão contar com plano de desenvolvimento urbano integrado, aprovado mediante lei estadual”, mas isto não desobriga os municípios de terem o seu próprio Plano Diretor, conforme determina a Constituição Federal (Lei nº 13.089, 2015).

- **Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo**

A Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo define, como uma das principais orientações, que o poluidor deve arcar com o ônus do dano ambiental decorrente da poluição, evitando-se a transferência desse custo para a sociedade. Porém, o seu artigo 50 foi alterado pela nova Lei Nº 16.802/2018 em 17/01/2018, que agora prevê a redução de 50% das emissões de CO₂ em 10 anos e 100% em 20 anos (Lei nº 14.933, 2009).

Essa Lei traz em seu Artigo 3º o seguinte texto:

“O processo de substituição por veículos e tecnologias mais limpas dar-se-á de modo gradual, e ocorrerá naturalmente no momento da substituição dos lotes de veículos mais velhos que são retirados da frota, conforme as regras contratuais de idade máxima permitida dos veículos” (Lei Nº 14.933, 2009).

Outro ponto importante dessa legislação é o artigo 6º que menciona as escolhas de combustíveis e novas tecnologias que serão realizadas por um Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas, instituído pela lei no momento de sua promulgação. Ainda no inciso II descreve que:

“O Comitê Gestor do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas será criado e regulamentado pela Administração Municipal, em até 180 (cento e oitenta) dias após o início da vigência desta lei, e será integrado, no mínimo, por representantes das Secretarias de Mobilidade e Transportes, Verde e Meio Ambiente, Obras e Serviços, Fazenda e Relações Internacionais do Município de São Paulo, bem como pelos operadores de transporte coletivo, empresas de coleta de lixo e representantes de organizações da sociedade civil que compõem o Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia” (Lei Nº 14.933, 2009).

A Lei propõe uma redução das emissões dos gases totais, conforme descrito na Figura 3.

Figura 3: Proposta de Redução de Emissões da Lei Nº 16.802

PARÂMETRO	AO FINAL DE 10 (DEZ) ANOS	AO FINAL DE 20 (VINTE) ANOS
CO ₂ de origem fóssil	50%	100%

PARÂMETRO	AO FINAL DE 10 (DEZ) ANOS	AO FINAL DE 20 (VINTE) ANOS
MP	90%	95%
NO _x (expresso como NO ₂)	80%	95%

Fonte: Lei Nº 16.802, 2018.

2.3 Soluções de transporte de baixo Carbono

Em novembro de 2015, quase duzentos países aprovaram o chamado Acordo de Paris, um marco internacional que busca reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, em quantidade suficiente para manter o aquecimento global abaixo de 2º C, além de redobrar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5º C. Em razão da magnitude desse desafio, será necessário desenvolver alternativas de energia renovável também para o setor de transportes que, embora muitas vezes negligenciado nas discussões internacionais sobre a mudança climática, representa quase um quarto das emissões globais de CO² (POPPE et al., 2017).

Entre as diversas alternativas em desenvolvimento para incentivar a transição para um setor de transportes de baixo carbono, os biocombustíveis avançados, tais como o etanol (E1G) de cana-de-açúcar e o etanol celulósico ou de segunda geração (E2G), representam uma solução de mais rápida implementação por sua elevada compatibilidade com o atual padrão veicular e a infraestrutura de distribuição e abastecimento energético (POPPE et al., 2017).

Uma das soluções possíveis, e cada vez mais competitivas, é a utilização de veículos movidos à energia elétrica, seja por meio de baterias, seja por meio de cabos aéreos, como é o caso dos trólebus (Velloso, 2010). A seguir, serão citados alguns tipos de soluções para ônibus com baixas emissões de poluentes, com detalhamento do funcionamento desses veículos.

2.3.1 Trólebus

O Sistema Trólebus começou a funcionar na cidade de São Paulo em 1949, por ser uma das capitais mais desenvolvidas do Brasil. Foi um meio de transporte muito interessante por ser silencioso, por utilizar uma fonte de energia renovável e não poluir o meio ambiente. Devido a essas vantagens, algumas cidades do interior passaram a adquirir esse sistema de tecnologia estrangeira, sendo necessário buscar conhecimento dos Estados Unidos e Europa. Esse sistema foi crescendo em etapas chegando a uma frota modesta de menos de 50 veículos até 1953, para

um rápido crescimento no final da década de 50 chegando a 150 veículos. Foi aumentando novamente nos anos 1960, então se estabilizou em algo em torno de 200 veículos entre 1970 e 1978. Todos os trólebus foram importados até 1960, quando as indústrias brasileiras começaram a produzir seus próprios ônibus elétricos. (ITDP, 2011)

O trólebus é um ônibus elétrico que recebe energia da rede aérea (dois cabos onde se conectam os veículos para a captação de energia) através de duas hastes denominadas troles. É similar aos ônibus convencionais, pois roda por meio de pneus de borracha sobre pavimento rodoviário normal, e não por meio de rodas metálicas sobre trilhos, como o trem e o metrô. É um meio de transporte bastante silencioso, dando conforto tanto aos usuários, quanto ao motorista, já que não possui cambio (MACEDO, 2017).

O trólebus têm mais benefícios que os sistemas híbridos. Apesar dos custos de operação serem maiores do que os similares a diesel, sua emissão de poluentes é reduzida em 90%, aliando-se a uma operação silenciosa, vida útil média aproximadamente 4 vezes maior e custos de manutenção 35% menores, demonstrando o potencial da aplicação (BRUTON, 2000).

A tecnologia para trólebus evoluiu ao longo das décadas e se tornou altamente confiável, os motores elétricos têm alto índice de eficiência energética, confiabilidade e durabilidade e todo o gerenciamento é feito eletronicamente, garantindo perfeita sincronia no sistema. As vantagens desse tipo de veículo é que ele não tem câmbio, como citado anteriormente, frenagem elétrica e aceleração controlada, emissão zero de poluentes, pois não utiliza motor a combustão.

2.3.2 Híbrido

Com base na literatura, são vários tipos de combustível considerados como alternativo, ou seja, Veículos Elétricos (VE), Veículos Híbridos elétricos (HEVs), célula de combustível (hidrogênio), metanol, gás natural (MORITA, 2003).

Os ônibus elétricos, chamados de híbridos, são aqueles que utilizam, além da energia elétrica, como os trólebus, um motor a diesel ou a gás natural, não necessitando, portanto, de uma rede elétrica. O motor a diesel é usado na partida do ônibus, passando-se depois a utilizar-se de energia elétrica para se locomover (MACEDO, 2017).

O ônibus híbrido elétrico tem uma tração semelhante ao de um trólebus comum, a diferença é que, em vez de buscar eletricidade na rede externa, ele gera a sua própria energia a bordo. O motor elétrico é o responsável pela tração nas rodas, e o conjunto motor-gerador gera a energia necessária para pôr o veículo em movimento. O motor-gerador pode funcionar também a álcool, gás ou gasolina. Ele opera em condição estacionária, e sua função é apenas gerar a energia necessária para tirar o veículo da inércia. A partir daí, cabe ao motor elétrico movimentá-lo (VASCONCELOS, 2015).

Quando é dada a partida, o motor diesel começa a operar em rotação constante, e assim permanece até o desligamento. Como não há acelerações, a emissão de gases poluentes na

atmosfera é mínima: apenas 10% da descarga de um motor diesel convencional. Com o veículo em movimento, o motor elétrico recebe energia tanto do conjunto motor-gerador quanto do conjunto de baterias. Quando o veículo estaciona para entrada ou saída de passageiros, o motor-gerador recarrega as baterias. Juntamente com o conjunto motor diesel-gerador, as baterias armazenam e fornecem energia para o motor elétrico. Por isso, o ônibus é chamado de híbrido (PEKAREK ET AL., 2011).

Além do híbrido que tem motor elétrico e motor a combustão, outro modelo que pode ser considerado híbrido é chamado de Dual Bus. É o sistema padronizado de tração, que pode ser alimentado por várias fontes de energia. O ônibus pode circular em duas configurações diferentes: Híbrido ou Trólebus e Híbrido ou Elétrico Puro (ELETRA, 2017).

O veículo é movido por um avançado conjunto de 193 baterias de lítio, ligadas em série, instaladas em quatro compartimentos sobre a capota, também podendo funcionar como Trólebus, com um sistema pneumático de recolhimento das alavancas coletoras de energia, e essas alavancas podem ser acionadas diretamente pelo motorista no painel, diferente do Trólebus atual. O ônibus, assim, se desconecta da rede aérea e passar a mover-se por suas próprias baterias sem interromper a viagem (ELETRA, 2017).

As vantagens desse sistema são a flexibilidade operacional, baixa emissão de poluentes e possibilidade de modificar a fonte de energia no mesmo veículo.

2.3.3 Ônibus Elétrico

Nos últimos anos os periódicos falam sobre a evolução de energia com foco no transporte, publicam trabalhos que lidam com ônibus movidos a células de combustível, ônibus híbridos, e ônibus de combustíveis alternativos para o transporte público. Os sistemas de ônibus elétricos mais evidentes hoje, que obtêm sua energia da rede aérea e que podem se recarregar com a frenagem não são reconhecidos, por terem exatamente a rede aérea como vantagem e desvantagem nas novas implantações (KÜHNE, 2010).

Um sistema de ônibus totalmente elétrico não só fornece uma maneira de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, mas também ajuda a eliminar as emissões dos gases efeito estufa, reduz o ruído e aumenta a eficiência energética. A energia pode ser transferida para os ônibus em vários momentos, tais como o carregamento durante a noite nas garagens, carregamento no ponto Terminal (final ou inicial de cada linha) e nos pontos de paradas no percurso do ônibus. Uma variedade de novos projetos está sendo testados e comparados com os sistemas de ônibus elétricos para demonstração, muitas vezes com um foco no veículo. Existem também vários projetos que analisam e aperfeiçoam diferentes formas de implantar sistemas de carregamento. São comparações de diferentes sistemas elétricos levando em conta o custo de infraestrutura e outros custos operacionais que podem variar com a tecnologia do ônibus (OLSSON ET AL., 2016).

O ônibus elétrico oferece diferentes conjuntos de recursos operacionais em comparação com o ônibus a diesel. Logística de energia, entre o consumo de energia, impacto ambiental e custos são exemplos dessas características variadas (Mohamed et al., 2017). Como mostrado anteriormente o sistema de carregamento pode ter 3 opções (Garagem, Terminal ou Pontos no percurso). Cada um oferece diferentes características operacionais. Os recursos elétricos durante a noite são relativamente mais longos, porém a capacidade da bateria requer tempo de carga mais longo, enquanto a outra oportunidade de carregamento elétrico se beneficia das cargas na própria rota e opera com uma capacidade menor da bateria (DE FILIPPO ET AL., 2014; LAJUNEN, 2014; MAHMOUD ET AL., 2016).

Para um caso Canadense foram desenvolvidos modelos para abordar as variadas opções tecnológicas, por meio do estabelecimento de comparações quantitativas para diferentes tecnologias de motores (por exemplo, combustão interna, híbridos e elétricos), e para diferentes tipos de combustível / energia (ou seja, eletricidade, diesel, hidrogênio). Estes estão focados no desenvolvimento de tecnologias medidas ambientais de motores elétricos alternativos, e são considerados um importante facilitador para a difusão de ônibus elétricos (DE FILIPPO ET AL., 2014; LAJUNEN, 2014; MAHMOUD ET AL., 2016).

Modelos de ciclo de vida destacam que os ônibus elétricos são competitivos em custo com ônibus a diesel e GNV (Mohamed et al., 2017). Embora os custos de capital sejam mais altos para o ônibus elétrico, os custos operacionais e de manutenção são mais baixos e contribuem para um Custo Total de Propriedade (TPC) competitivo.

Lajunen (2014) destaca que o TPC do ônibus elétrico é apenas 13% a 25% superior ao do diesel, baseado em rotas de ônibus simuladas no Canadá. Outros estudos confirmam esses dados em diferentes contextos e relatam um TPC de 15% a 50% maior em ônibus elétrico (Conti et al., 2015). No entanto, é evidente que os modelos de TPC são significativamente sensíveis à tecnologia e configurações operacionais (Nurhadi et al., 2014). A configuração da bateria (energia / densidade de potência) em particular, tem um grande impacto nas estimativas de TPC (DE FILIPPO ET AL., 2014; LAJUNEN, 2014).

Outro exemplo é uma frota de oito ônibus elétricos que operam ao longo de uma rota movimentada em Milton Keynes. A frota opera em uma rota que cobre 25 km e os ônibus são recarregados no início e no final da rota, bem como durante a noite. Reconhece-se que poderia haver diferentes tipos de desafios em relação à instalação de estações de carregamento em cidades do interior e mais pesquisas devem ser feitas nessa área. Além disso, a infraestrutura de carregamento pode ser prevista de uma forma otimizada, conforme Lajunen (2017).

2.3.3.1 Baterias para Suporte do Ônibus Elétrico

A capacidade de armazenamento de energia é uma das características mais importantes quando se lida com ônibus elétricos e duas categorias podem ser definidas como função de sua característica:

- A primeira categoria de baterias para os ônibus elétricos, adota baterias com capacidade médias tipicamente 20-60 kWh, carregando em estações terminais (Pontos Finais) por cerca de 4 a 6 minutos. Este sistema de carga é conhecido como oportunidade em rota (*on-route*) para carregamento (CIVITAS, 2016).
- A segunda categoria de baterias para ônibus elétrico, adota tipicamente baterias grandes de 200-350 kWh, isto é, deve ser carregada durante a noite nas garagens de ônibus (CIVITAS, 2016). Novos sistemas são implantados no modelo *on-route* nos Estados Unidos (região San Gabriel, Califórnia) com baterias de 88 kWh com cargas rápidas de 500 kW e duração média de 5 minutos. Além disso, 600kW de impulso são realizadas em pontos de ônibus a cada 1 ou 1,5 km por 15 segundos. Em Luxemburgo (ABB / Volvo), um plug-in BEB híbrido é colocado em pontos finais com duração de 6 minutos, com um impulso de 150 kW (PROHASKA ET AL., 2016).

Em geral, a infraestrutura de carregamento resulta em forte dependência entre o seu planejamento e o operador dono do ônibus (ROGGE ET AL., 2015). O Livro sobre “Melhores práticas em matéria de veículos elétricos” relata que somente com planejamento adequado, o transporte da eletrificação pode resultar em “mais eficiência e menos custo na operação da rede, fornecendo serviços auxiliares, com preços mais baixos”. Portanto, é necessário fazer investigação na implementação de projeto com sistema de baterias para ônibus elétrico (FUSCO ET AL., 2012, PTERNEA ET AL., 2015).

2.3.3.2 Arquitetura para carregamento do Ônibus Elétrico

As baterias descritas acima demonstram que dependendo da utilização das mesmas é necessário um tipo de recarregamento específico, para isso é considerado três soluções elétricas, onde vamos nomear essas soluções de arquiteturas A, B e C, que correspondem aos seguintes modelos operacionais abaixo, conforme Conti *et al* (2015):

- Arquitetura A: carga lenta na garagem (tempo de algumas horas de carregamento). Os veículos estão equipados com algumas baterias de grande capacidade (algumas centenas de kWhs).
- Arquitetura B: carga nos terminais de operação (tempo de alguns minutos de carregamento), mais a carga durante a noite na garagem. Os veículos são fornecidos com baterias menores (algumas dezenas de kWhs).
- Arquitetura C: cargas rápidas nos pontos (o tempo de carga de alguns segundos), com o complemento nos terminais e carga lenta na garagem. Os veículos são equipados com armazenamento de energia de pequena capacidade (algumas unidades de kWhs).

Um tipo específico de armazenamento a bordo é atribuído a cada arquitetura, baterias de lítio para a arquitetura A e B, enquanto super-condensadores são fornecidos para a arquitetura C,

para o armazenamento da energia principal (e baterias de lítio para a parte de trás assegurando o funcionamento da linha de ônibus em caso de falha em algumas estações de carregamento). Supercapacitores são extremamente duráveis e muito adequados para alta potência e recargas ultra-rápidas, mas, por outro lado, são mais pesados, maiores e significativamente mais caros por kWh, quando em comparação com as baterias convencionais. No entanto, no caso de cargas frequentes, a capacidade total de armazenagem e, conseqüentemente, as dimensões, o peso e os custos, podem ser reduzidas adequadamente (CONTI ET AL., 2015).

3. METODOLOGIA

Este estudo se caracteriza por ser uma pesquisa bibliográfica. Para tanto, foram escolhidos diversos artigos e trabalhos científicos como objeto de análise. Nesses materiais foram levantadas informações sobre o balanço energético do Brasil, especificamente sobre a geração de energia elétrica no Brasil. Também foi feito um levantamento de estudos sobre o tema de mobilidade urbana e principalmente, sobre soluções de transporte de Baixo Carbono.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do setor de transportes em um país ultrapassa a simples definição de deslocamento de bens e pessoas. O setor do transporte também é responsável por induzir riqueza e desenvolvimento, uma vez que gera emprego, transferência econômica e também consome produtos e insumos de outros setores.

Além da discussão sobre a intensificação do incentivo ao uso de transporte de massa de qualidade e ao uso de biocombustíveis, e também a eletrificação do sistema de transporte, tem sido discutida como alternativa para mitigação dos danos decorrentes da poluição causada pelo congestionamento do trânsito. Nesse sentido, contribui também o maior nível de eficiência energética associado ao uso da tração elétrica quando comparada ao motor de combustão interna (EPE, 2016). Contudo, a inserção de novas tecnologias e combustíveis, enfrenta grandes barreiras na maioria dos países, e essas dificuldades estão fortemente atreladas à existência de uma extensa cadeia petrolífera, profundamente enraizada na economia mundial e cuja principal razão de ser é o motor a combustão interna (EPE, 2016).

As alternativas tecnológicas para a substituição dessa combustão também incluem: uso de biocombustíveis; hibridização/eletrificação; dieselização; uso de hidrogênio. Como resultado, novas tecnologias que modifiquem o atual sistema de propulsão dos veículos representam transformações industriais e econômicas paradigmáticas no setor de transportes (EPE, 2016).

De fato, a propulsão elétrica em veículos requer alterações significativas em cadeias industriais, nichos de mercado, estratégias corporativas e mudanças legislativas e comportamentais que variam dependendo do país. No caso brasileiro, a justificativa da dependência fóssil é menos importante, por conta da ampla participação de fontes renováveis em sua matriz energética, de

veículos nacionais bicompostíveis que utilizam etanol e gasolina, e do menor custo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar (EPE, 2016).

O panorama apresentado anteriormente mostra que existem várias tecnologias disponíveis de veículos para redução das emissões de gases poluentes. Sendo assim, a possibilidade de termos uma frota totalmente elétrica vai depender dos investimentos que serão feitos na área de transporte nos próximos anos. Mesmo assim, corre-se o risco de não atingir as metas estabelecidas na lei, isso devido a não ter um modelo de distribuição da energia pronto.

A pressão sobre os governantes será das leis que impõem a redução das emissões de gases para os próximos anos, e só terá resultados positivos se envolverem nesse processo o poder público, operadoras de ônibus e fabricantes. Mesmo com a participação de todos os atores não será fácil o atingimento das metas, ora estabelecidas na lei Nº 16.802/2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP. **Mobilidade Humana para um Brasil Urbano – Edição Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP**, Câmara Brasileira do Livro, SP, 2017. Acessado em: 12 de Maio de 2018.

BEEESP. **SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO - Balanço Energético do Estado de São Paulo: Ano Base 2016**. (Série Informações Energéticas, 002) / p. 274, 2017.

BEN. **Ministério de Minas e Energia – MME - Balanço Energético Nacional: Ano base 2016 / Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro: EPE, 2017.

BRUNTON, L. Jhon. **Why not the trolleybus?. In: the IEE Seminar Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles**, pp. 17. 2000

CIVITAS, Tech. Rep.. **“CIVITAS policy note: Smart choices for cities. alternative fuel buses”**. 2016.

CONTI, Matteo; KOTTER, Richard; PUTRUS, Ghanim. **Energy efficiency in electric and plug-in hybrid electric vehicles and its impact on total cost of ownership**, pp. 147–165, 2015.

DE FILIPPO, Giovanni; MARANO, Vincenzo; SIOSHANSI, Ramteen. **Simulation of an electric transportation system at The Ohio State University**. Appl. Energy 113, 1686–1691, 2014.

ELETRA. **Eletra Tecnologia de Tração Elétrica**. Disponível em <http://www.eletrabus.com.br/dualbus/>. Acessado em: 01 de Junho de 2018.

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; ISAAC, Guillermo Espinosa. **Transporte Público Urbano, 2ed.: ampliada e atualizada. RIMA: São Carlos**, 2004.

FUSCO, Gaetano; ALESSANDRINI, Adriano; COLOMBARONI, Chiara; VALENTINI, Maria Pia. **“A model for transit design with choice of electric charging system,”** Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 87, pp. 234–249, 2012.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar – Como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. 12ª Edição, São Paulo: Editora Record, 2011.

KÜHNE, Rainer. **Electric buses e An energy efficient urban transportation means**, journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy, German Aerospace Center (DLR), Transportation Studies, Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin, Germany.



Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo
ISBN - 978-85-68242-80-3

IPEA. **Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas - Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil**. Brasília publicado em maio de 2016.

ITDP. **Instituto de Política de Desenvolvimento e Transporte – Relatório Os trólebus na Cidade de São Paulo: Uma Análise Preliminar**, 2008.

LAJUNEN, Antti. **Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses**. *Transport. Res. C-Emer.* 38, 1–15, 2014.

LAJUNEN, Antti. **Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods**. *Aalto University, Finland. Journal of Cleaner Production* 172 (2018) 56 e 67, 2017.

MACEDO, Jan Erik Johansson. **Estudo de linha de Trólebus de Natal, UFRN – Centro de Tecnologia – SISBI**, 2017.

MAHMOUD, Moataz; GARNETT, Ryan; FERGUSON, Mark; KANAROGLOU, Pavlos. **Electric buses: A review of alternative powertrains**. *Renew. Sustain. Energy. Rev.* 62, 673–684, 2016.

MOHAMED Moataz., FERGUSON Mark; KANAROGLOU Pavlos. **What hinders adoption of the electric bus in Canadian transit? Perspectives of transit providers**, Elsevier - journal homepage: www.elsevier.com/locate/trd, 2017.

MORITA, Kenji. **Automotive power source in 21st century**. *Journal of Society of Automotive Engineers of Japan* 24 (1), 3–7, 2003.

NURHADI, Lisiana; BOREN, Sven; NY, Henrik. **A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities**. In: 17th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, Ewgt 2014 3, pp. 818–827, 2014.

OLSSON, Oscar; GRAUERS, Anders; PETTERSSON, Stefan. **EVS29 Symposium Montréal, Québec, Canada - Method to analyze cost effectiveness of different electric bus systems**, June 19-22, 2016.

PEKAREK, Steve; ZEFRAK, Milos; BENGEE, Sorin; DeCarlo, Raymond; Uthachana, Kasemsak. **Hybrid Optimal Theory and Predictive Control for Power Management in Hybrid Electric Vehicle**, *Journal of Nonlinear Systems and Applications*, Vol. 2, No. 2, pp. 96–110, 2011.

PTERNEA, Moschoula; KEPAPTSOGLOU Konstantinos; KARLAFTIS Matthew. **“Sustainable urban transit network design,”** *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 77, pp. 276–291, 2015.

POPPE, Marcelo Khaled; GODINHO, Renato Domith; MANCUSO, Rafael Vizeu; MILANEZ, Artur Yabe. **O Acordo de Paris e a Transição para o Setor de Transporte de Baixo Carbono: O Papel da Plataforma para o Biofuturo**, BNDES Setorial 45, p. 285-340, 2017.

PROHASKA, Robert; EUDY, Leslie; KELLY, Kenneth. **“Fast charge battery electric transit bus in-use fleet evaluation,”** in *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo*, 2016.

ROGGE, Matthias; WOLLNY, Sebastian; SAUER, Dirk Uwe. **“Fast charging battery buses for the electrification of urban public transport—a feasibility study focusing on charging infrastructure and energy storage requirements,”** *Energies*, vol. 8, no. 5, pp. 4587–4606, 2015.

VASCONCELOS, Yuri. **Ônibus mais Sustentáveis – Revista Fapesp** ed. 237, pp 74-77, 2015.