

A AVALIAÇÃO DO USO DE TECNOLOGIAS RENOVÁVEIS COMO FONTE DE ENERGIA PARA O TRANSPORTE PÚBLICO EM MARICÁ

Autor: Érika Branco Pereira Santos

Orientador: Mônica Maria Campos

Resumo: Esta pesquisa, sob a ótica da ESG (Environmental Social and Governance – Governança Ambiental e Social) busca compreender e avaliar a(s) alternativa(s) de energias renováveis que melhor atendam ao município de Maricá-RJ, com vistas à execução futura da transição da matriz energética referente aos transportes públicos da cidade. Assim é apresentado um mapeamento dos modelos energéticos estudados pela COPPE/UFRJ para a cidade e também analisados dados de fonte de energia fóssil para abastecimento, coletados via empresa de ônibus EPT, uma autarquia da prefeitura da cidade. Além disso, foram avaliados os resultados dos modelos implementados pela empresa Vale S.A., identificando os pontos fortes e fracos e as oportunidades e ameaças do mercado.

Palavras-chave: ESG; energias renováveis; transportes públicos; fonte de energia fóssil.

Abstract: This paper seeks to understand and evaluate the renewable energy alternative(s) that best serve the municipality of Maricá-RJ, under the perspective of ESG (Social Environmental and Governance - Environmental and Social Governance). The research aims to henceforth implement the transition of the city's public transportation energy matrix. Thus, a mapping of opportunities that were studied by COPPE/UFRJ for the city is presented. In addition, the results of the models implemented by the company Vale S.A. were evaluated, identifying their strengths and weaknesses and market opportunities and threats.

Keywords: ESG; renewable energy; Public transportation; fossil energy source.

Introdução

As ações antropogênicas durante o período da Revolução Industrial intensificavam a concentração de gases de efeito estufa (GEE), e conseqüentemente, o aquecimento global sem a preocupação com a origem ou impactos ocasionados pelas indústrias. Entretanto, com o decorrer dos anos é notório uma mudança de mentalidade da sociedade, onde, os seres humanos se preocupam em conservar o meio ambiente para as gerações futuras (SALVIANO GROppo e PELLEGRINO, 2016; BASSI, *et.al.*, 2016).

Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – ano base 2021, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor do transporte foi o que mais gerou emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, tanto na produção, como no uso de energia. A emissão de gases como o CO₂ é considerada a principal contribuinte para o aquecimento global, desta forma, causando o aumento da temperatura da superfície da Terra. Assim, ainda sendo considerado um grande agente agressor do meio ambiente e da saúde.

As principais fontes de energia usadas no início do século XXI foram o carvão mineral, o gás natural e os derivados de petróleo, como a gasolina e o óleo diesel, ou seja, as fontes não renováveis e mais poluentes. O aumento da quantidade de veículos que circulam nos centros urbanos com a utilização das fontes citadas, gera em paralelo, o crescimento da concentração de poluentes na atmosfera, como o monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃) e materiais particulados (MP) (MENDES, 2004).

A necessidade da transição de matriz energética é nítida. No qual, sua implementação deve ocorrer gradativamente através das políticas públicas e privadas nos setores produtivos e de infraestrutura. Entretanto, existem fontes alternativas que contribuem na mitigação da geração de poluentes, como os biocombustíveis, que se originam de vegetais tais como: a lenha, o carvão vegetal, o bio-etanol, o biodiesel, etanol, metanol, dentre outros (CARVALHO, 2009; URQUIAGA, 2005).

Além destes insumos renováveis, a energia elétrica, já utilizada desde o final do século XIX em locomotivas e veículos automotores, se apresentava como uma opção menos poluente, mas perdeu força para os combustíveis fósseis por serem economicamente mais viáveis e capazes de atravessar longos percursos. Uma outra alternativa considerada é a produção de modelos híbridos. Desse modo, é possível combinar um sistema de propulsão elétrica, com uma outra fonte de energia (DATHEIN, 2003; BARAN, 2011; DE MATTOS, 2007).

A presente pesquisa trata dos modelos de veículos de transporte coletivo convencionais (diesel), elétrico e híbrido, assim trazendo suas vantagens e desvantagens para veículos destinados ao transporte público. As premissas para a avaliação foram em função das dimensões sociais, econômicas e ambientais.

Referencial teórico

O cenário das fontes de energias renováveis e não renováveis.

A matriz energética global é composta em sua maior parte por fontes de energias não renováveis, como demonstrado no gráfico I abaixo, onde o ano base foi 2019 para coleta de dados.

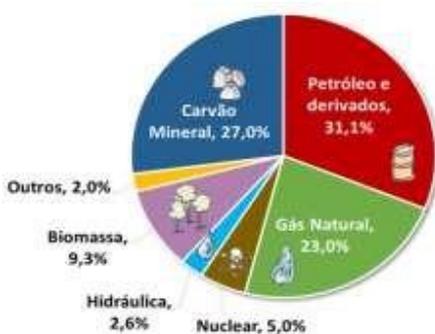


Gráfico I – Matriz energética mundial
Fonte: EPE – IEA, 2021



Gráfico II – Matriz energética brasileira
Fonte: EPE – BEN, 2021

A matriz energética brasileira (Gráfico II) difere positivamente do restante dos países, onde 48,3% são de origem renovável e 51,7% não renovável. Em contrapartida, em escala global há um consumo da matriz energética somente de 11,9% de energias renováveis – biomassa e hidráulica.

Os impactos gerados pelos combustíveis fósseis

Os combustíveis fósseis, também conhecidos como petróleo, carvão e gás, são fontes de energia não renováveis, pois, é necessário milhões de anos para se formarem e a capacidade de consumo é superior à de se reproduzir. (MOREIRA & D'ALMEIDA, 2018).

Segundo CARVALHO (2009), a indicação aproximada do prazo para o esgotamento da oferta do petróleo nas reservas brasileiras é para 2029, podendo chegar até meados de 2039. A exploração em larga escala de combustíveis fósseis trouxe diversos impactos à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente, contribuindo para o aumento do efeito estufa e poluição do ar e mares através da liberação de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e dióxido de enxofre (SO₂)(OLIVEIRA *et. al.*, 2021).

Os incêndios e as queimadas florestais contribuem para redução da biomassa terrestre, degradação do solo e extinção de espécies de animais e vegetais através da liberação de gás carbono absorvido pelas vegetações, pois por meio da fotossíntese são capazes de manter retido o carbono na matéria orgânica vegetal que irá retornar para atmosfera (MENDES e NUNES, 2021).

Em relação aos acidentes, normalmente ocorrem durante a extração e transporte do produto, através de vazamento no mar, dos navios transportadores, afetando a vida marinha ao impedir a passagem de luz solar e acelerando o fim de ciclo de vidas (OLIVEIRA, CRUZ e FERREIRA, 2021).

De acordo com o World Resources Institute (SROUJI *et. al.*, 2021), as mudanças climáticas extremas atuais que geram calor excessivo e incêndios florestais, recorrentes nos EUA, Canadá e Rússia, ocorrem a 1,1 °C em relação aos níveis pré- industriais. Ao manter a temperatura da Terra abaixo de 1,5 °C é possível mitigar tais eventos climáticos mais agressivos. Mas, ultrapassar este limite condenará milhões de pessoas a um risco maior de ondas de calor, inundações, secas e pobreza.

A insustentabilidade de combustíveis fósseis como fonte de energia no setor do transporte

O setor de transportes é um dos maiores consumidores de energia, e devido a este destaque no mercado, ele tem forte influência no planejamento energético e desenvolvimento de um país. A utilização mais eficiente da energia pode influenciar a qualidade do ar, da água e do solo (AZUAGA, 2000).

O gráfico III abaixo representa o consumo energético por setor em anos selecionados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, através do Atlas da Eficiência Energética – Brasil | 2021. No qual, o setor do transporte encontra-se na segunda

colocação como um dos consumidores energéticos.

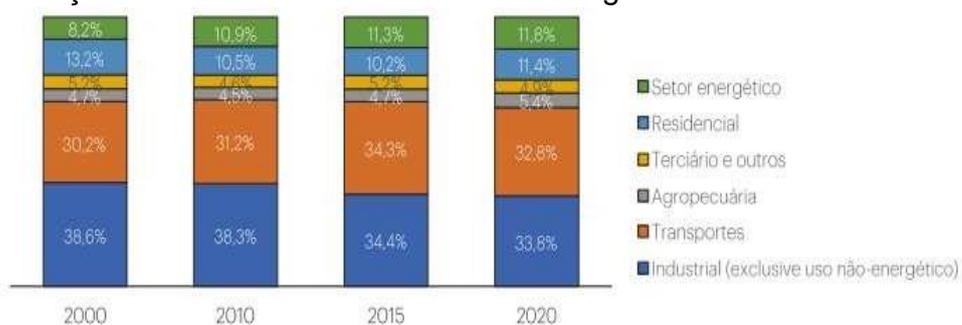


Gráfico III – Consumo energético por setor selecionado

Fonte: EPE (2021b)

Os vetores energéticos predominantes no setor de transporte no século XXI

Em 2020, as fontes de energias predominantes no setor do transporte, são: diesel, gasolina e etanol. Onde, apenas o etanol é considerado como um energia renovável – de 2000 para 2020 houve um aumento de 7% no seu consumo. Enquanto o diesel teve uma queda de 6,4% e a gasolina de 2,6%.

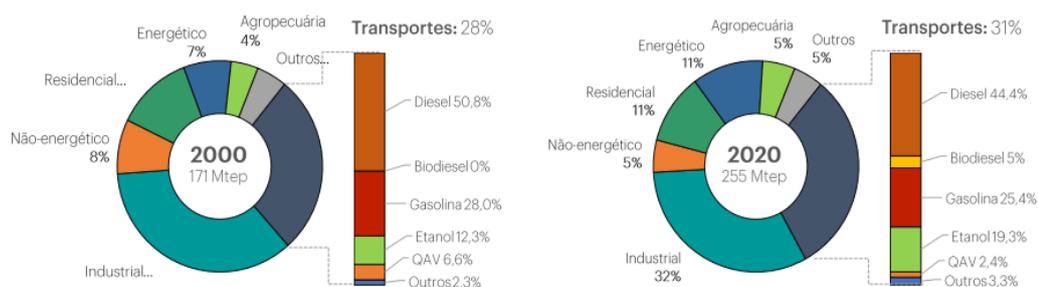


Figura I: Consumo final do setor de transporte no Brasil em 2000 e 2020

Fonte: EPE (2021b)

Metodologia

A metodologia definida para este estudo foi baseada na revisão estruturada da literatura e sistemática (MARCONI e LAKATOS, 2003). Este artigo compreende um estudo qualitativo acerca de transição de matriz energética para transportes coletivos (GIL, 2017). Ademais, foram realizadas visitas de campo para avaliação da viabilidade do estudo através de entrevistas. Para obtenção dos resultados foram avaliados os modelos monitorados pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós- Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), unidade da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e, os resultados de ônibus elétricos implementados internamente e testados pela Vale S.A., presente nas operações brasileiras. Também fez parte dos dados analisados, as informações existentes hoje referentes aos atuais modelos de transportes públicos de Maricá (Vermelinhos). Como método analítico-interpretativo, a pesquisadora trouxe gráficos e figuras que permitam facilitar a leitura de determinadas informações.

Resultados da Pesquisa

A seguir serão apresentados os vetores energéticos para a avaliação das possibilidades de realizar a transição da matriz energética, do transporte coletivo público de Maricá, localizada no leste da Região Metropolitana, Rio de Janeiro.

Assim, foi realizada uma visita à empresa pública EPT, uma das pioneiras no país a executar o projeto de ônibus Tarifa Zero (EPT, 2023), onde foi agendada uma reunião com o diretor operacional João Paulo Brito e o assistente operacional José Paulo Costa para coleta de alguns dados.

Além disso, foi possível contar com o apoio do superintendente executivo da Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2) e da COPPER/UFRJ, Gabriel Lassery, edo mestrando Marcos Azevedo – COPPE/UFRJ.

Por fim, a pesquisa teve auxílio da empresa Vale S.A., mineradora multinacional brasileira. A companhia representa 2% de toda energia elétrica consumida no Brasil (VALE, 2023). O entrevistado para contribuir com esclarecimentos sobre o projeto de ônibus elétricos foi Luiz Claudio Nunes, especialista técnico em eficiência energética de sistemas elétricos.

Dito isto, posteriormente serão discursados mais detalhes sobre os conteúdos que foram absorvidos na literatura e em cada visita de campo sobre os vetores energéticos estudados.

Diesel

O óleo diesel é derivado do petróleo e um dos combustíveis mais usados no Brasil para abastecer o setor do transporte. Segundo FRANCISCO (2013), conforme citado por DA SILVA (2013, p. 01), a composição molecular do óleo diesel contém entre 12 e 22 átomos de carbono, formado por hidrocarbonetos e em quantidade menor por oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S). A indispensabilidade de tecnologias mais limpas é notória, desse modo o biodiesel, combustível derivado de biomassa, foi introduzido na matriz energética brasileira no ano de 2005 (SILVA & BARAÑANO, 2019).

Segundo a Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis, realizada pela EPE, com ano base 2021, através da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005) foram fixados 2% em volume, à obrigatoriedade da adição de biodiesel à mistura com o diesel fóssil. Para 2022, 10% foi o disposto na Resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) nº 25, de 22 de novembro de 2021.

Segundo REIS (2018), conforme citado por FREITAS (2019), no Brasil, está disponível o S500 e o S10 podendo diminuir em até 90% a emissão de enxofre. O diesel S10 é equivalente a 10 partes de enxofre por milhão. Enquanto, o diesel convencional ou S500 possui 500 partes por milhão (ISERHARDT, 2021).

De acordo com Brito e Costa (2022) (informação verbal)¹, a empresa EPT faz uso do diesel S10, além disso, é acrescentado um aditivo, o Arla 32, um agente redutor com a capacidade de transformar os tóxicos óxidos de nitrogênio em materiais não-nocivos, como nitrogênio e água. Arla significa Agente Redutor Líquido Automotivo, já o 32 representa a concentração de uréia (substância responsável por gerar a reação química para quebrar os óxidos de nitrogênio). Para cada 100g de água, há 32,5 g de uréia (32,5%) (RAMOS, 2020).

Ainda segundo Brito e Costa (2022) (informação verbal)¹, atualmente a empresa EPT atua com 26 linhas de ônibus que circulam em vias pavimentadas e

¹ Informação fornecida por João Paulo Brito e João Paulo Costa. Entrevista realizada na EPT, em Maricá-RJ, em mês de 2022.

8 linhas em vias não pavimentadas. A quantidade de viagens por dia de cada linha varia de 5 a 91. A linha com maior percurso pavimentado é a E30A - Centro X Recanto, com 36,2 Kms, uma média de consumo de diesel/dia de 220 Litros (l), com uma média de 2,5 Km/l. Assim, o veículo que fizer o trajeto desta linha tem uma autonomia em torno de 687,5 Kms. A capacidade dos tanques dos veículos é de 275 l com tempo médio de abastecimento de 4 minutos.

Em relação aos principais custos fixos (CF) e custos variáveis (CV) da EPT, Brito e Costa (2022) (informação verbal)², declararam que consideram a mão de obra indireta (CF), o contrato de locação de 104 ônibus urbano com veículos (CF), motoristas (CV), manutenção (CF) e combustível (CV) inclusos, e, o custo de manutenção por ônibus próprio (CF), sendo considerados 15 veículos. Os elementos que sofrem manutenção são: sistema de freio, suspensão, caixa de marcha, reparo na carroceria, troca de óleo, filtros, ar- condicionado e troca de pneus.

Etanol

O etanol é um líquido límpido e inflamável. Conhecido como álcool etílico e como um tipo de fonte de energia renovável. A fórmula molecular deste composto orgânico é descrita, como: C_2H_5OH – Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O) (BASTOS,2007).

Essa substância ao ser usada como combustível pode ser classificada como etanol Hidratado ou Anidro. O primeiro contém em sua composição até 7,5% de água quando comparado à gasolina, e emite até 90% menos de CO_2 . Enquanto o Anidro, chamado também de etanol puro ou absoluto, tem somente 0,7% de água na sua composição. Desse modo, as emissões de gases poluentes são reduzidas em 15% de CO_2 por quilômetro rodado (ÚNICA, 2022).

O Brasil, segundo maior produtor global de etanol, tem a cana-de-açúcar como principal matéria-prima (primeira geração - 1G). Entretanto, o maior produtor global é os Estados Unidos, cuja matéria-prima usada é o milho (VIDAL, 2020).

O etanol 2G é produzido a partir de biomassa residuais da produção de etanol e açúcar, ou seja, a palha e bagaço. De acordo com ALVES (2012), conforme citado por DOMINICES (2017, p. 31), a exploração destes subprodutos renováveis auxilia na resolução de problemas ambientais associados ao descarte dos mesmos, e, a mitigar a competição com a produção de alimentos.

Elétrico

Conforme citado por SILVA (2022, p. 38), segundo MILES e POTTER, (2014); BAYINDIR *et.al.* (2011); RIBAU *et.al.* (2014); YONG *et al.*, (2015), o modo dos ônibus elétricos operarem depende da configuração do sistema de propulsão, isto incluindo os Ônibus Híbridos (Hybrid Electric - HEB), Ônibus Célula de Combustível (Fuel Cell Electric- FCEB) e Ônibus Elétricos a Bateria (Battery Electric - BEB).

² Informação fornecida por João Paulo Brito e João Paulo Costa. Entrevista realizada na EPT, em Maricá-RJ, em mês de 2022.

Os BEB, também conhecidos como puramente elétricos, devido a seu sistema de tração ser alimentado apenas por energia elétrica armazenada nas baterias, no qual a composição destas pode variar em diversos tipos, como: chumbo-ácido, níquel-cádmio, níquel-metal híbrido, sódio-cloreto níquel, fosfato de ferro lítio, titanato de lítio, íon-lítio de níquel cobalto manganês (NCM Li-ion), entre outras (SILVA, 2022; PIERANTONELLI e QUINTILLA, 2019).

As baterias de íon-lítio são a alternativa mais empregada no setor do transporte por não apresentar reação de oxirredução. Devido o lítio ser pequeno e leve, a energia específica deste elemento é em torno de duas vezes maior comparado à energia das baterias de níquel metal hidreto (NiMH), e, em relação as baterias de chumbo ácido, cerca de quatro vezes maior (PbA) (SILVA, 2022; DE OLIVEIRA RUGERI e GASPARIN, 2022).

O seu carregamento pode ocorrer através de recarga diária ou troca de bateria. O tempo de recarga das baterias depende da tipologia, capacidade, tensão e corrente de saída do carregador. Normalmente, leva-se 6 horas para o carregamento completo, entretanto existem sistemas de carga rápida que conseguem reduzir este tempo para 2 a 3 horas (DE MATTOS, 2007).

Segundo Luiz Cláudio Nunes (2022) (informação verbal)³, o tempo de recarga dos ônibus é aproximadamente de 4 horas. Sendo possível percorrer em média 180 Kms em percursos planos/pavimentados e 130 Kms em percursos com pontos de aclive e/ou não pavimentados. A capacidade de distância percorrida irá depender da topografia do trajeto. Além da aclividade, outras características também consideradas pela companhia foram: segurança dos passageiros – considerando o retorno dos funcionários para suas residências em casos de *blackout* e desempenho dos BEB (Km/Kwh). Como forma de mitigar este gargalo uma possível solução é adicionar aos possíveis futuros contratos, BEB eventual.

Comparado aos modelos convencionais, os veículos elétricos fornecem torque mais elevado em velocidades mais baixas, o que torna a aceleração mais adequada na saída do repouso. Também aumentam a eficiência energética através do sistema de frenagem regenerativo, ou seja, quando o ônibus desacelera o motor funciona como uma espécie de gerador capaz de recarregar o banco de baterias durante as frenagens (DE MATTOS, 2007; DE OLIVEIRA RUGERI e GASPARIN, 2022).

A Vale tem estudado melhores maneiras de como eletrificar sua matriz energética. No mercado de eletricidade, a Vale tem contratos de longo prazo com concessionárias de energia elétrica que a possibilita ser mais competitiva pelo valor de mercado da empresa, e viabilizar seu projeto de transição da matriz energética, pois, se tivesse que considerar carregar os ônibus na garagem do fornecedor, o projeto do ponto de vista econômico não seria compensatório.

A geração de energia não precisa estar próxima ou dentro do site para transmitir energia. Para futuras recargas, a Vale considera o Complexo Eólico Santo Inácio, localizado no Ceará – com potência instalada de 98,7 Megawatts (MW), e o Projeto Solar Sol do Cerrado, em Minas Gerais. O empreendimento tem potência instalada de 766 Megawatts-pico (MWp), o equivalente ao consumo de uma cidade de 800 mil habitantes (VALE).

³ Informação fornecida por Luis Cláudio Nunes. Entrevista online, em janeiro, 2023.

Desse modo, com o objetivo de implementar o projeto de transição de vetores energéticos dos ônibus, foram realizados alguns *benchmarking* para estudo da viabilidade técnica e econômica, com algumas empresas. Os estudos deram início aos testes em Carajás-PA, onde a Vale em parceria com a empresa BYD avaliaram a viabilidade do projeto. Assim, foram medidas todas as rotas que os ônibus convencionais exercem hoje, considerando do município de Parauapebas à mina de Carajás. Somente um trecho foi concluído como ponto de atenção, pois alcançou o limite das condições estipuladas como viáveis para trajetos de active. Além disso, outras companhias contribuíram com este estudo.

Como estratégia a longo prazo, as aquisições estão planejadas para ocorrerem gradativamente. A meta de suprimentos para transição dos vetores irá acompanhar o vencimento dos contratos a diesel, assim, nos novos processos concorrenciais, serão inseridos na especificação técnica o quantitativo referente a 5% da frota de ônibus serem elétricos.

Ainda durante a entrevista, Luiz Claudio Nunes (2022) (informação verbal)⁴, apontou além das vantagens ambientais dos BEB em relação aos modelos convencionais, o custo com manutenção como inferior, não há emissões de ruídos sonoros e vibrações e tem maior eficiência energética. Mas, para o especialista técnico o que viabiliza a contratação de BEB são os CV, e quanto maior a distância percorrida, menor será o custo com o vetor energético comparado aos convencionais a diesel.

Enquanto os ônibus célula de combustível, conforme citado por SILVA (2022, p. 41), segundo AJANOVIC, GLATT e HAAS (2012), geram energia através de uma reação eletroquímica em que hidrogênio e oxigênio se combinam para criação de eletricidade. Este modelo de veículo não emite nenhum tipo de gases poluentes em seu processo produtivo de energia.

Segundo Gabriel Lassary (2022) (informação verbal)⁵, a produção de hidrogênio pode ser realizada por diferentes processos. O mais comercializado é o projeto reforma do vapor, no qual, a molécula de hidrogênio é extraída do CH₄ - meio que mais emite CO₂. Apesar disso, a descarbonização ocorre em proporção relevante comparada aos combustíveis fósseis. Enquanto a eletrólise é a quebra da molécula de água – zero emissão de carbono, biomassa de rejeito - processo chamado de emissão negativa de carbono, pois CO₂ já foi absorvido pela fotossíntese, e, hidrogênio natural, elemento retirado do solo.

Gabriel Lassary (2022) (informação verbal), acredita que o Brasil é um dos países com maior potencial de comercializar hidrogênio por menor preço, pois há diversos meios para produzi-los no país. Seu valor é alto por ser pouco comercializado. A perspectiva é positiva para a redução do preço seja mais veloz comparado ao histórico dos outros vetores energéticos, devido a crescente pressão para descarbonização.

A Figura II demonstra um sistema técnico elétrico representados por automóveis. Onde, os Kers são equivalentes aos freios regenerativos.

⁴ Informação fornecida por Luis Cláudio Nunes. Entrevista online, em janeiro, 2023.

⁵ Informação fornecida por Gabriel Lassary. Entrevista online, em mês, 2022.

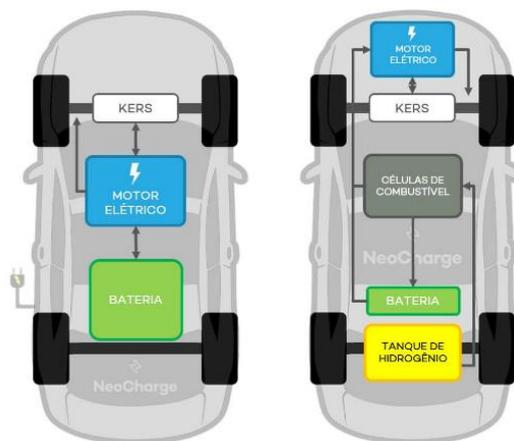


Figura II: Esquema de configuração técnica elétrica: bateria e célula de combustível
 Fonte: NeoCharge, 2021

Enquanto, para veículos híbridos de pilhas de combustível, é acrescentado um motor de combustão interna convencional (ICE).

Híbridos

Os veículos híbridos combinam motor elétrico (ME) com motor de combustão interna convencional (ICE), este pode utilizar gasolina/álcool ou diesel NEOCHARGE, (2021). Para Gabriel Lassary (2022) (informação verbal), existe ganho neste veículo principalmente para o setor de longas distâncias, pois não necessita da implementação de infraestrutura para se adequar aos combustíveis convencionais. O modelo estudado pela COPPE utiliza etanol.

As configurações destes veículos podem ser em série, paralela ou série/paralela, no qual se diferenciam pela maneira que é inserido o motor no sistema de propulsão elétrica (SILVA, 2022).

Sendo assim, para MELLO (2010), conforme citado por CAVAGLIANO (2021, p.20), essa topologia será reconhecida como em série quando o motor ICE acionar apenas um gerador para alimentar o motor elétrico de tração. Segundo Gabriel Lassary(2022), a rotação do motor ICE influencia na rotação da roda, o que altera a eficiência do motor.

De acordo com MAHMOUD et al (2016), como mencionado por SILVA (2022, p. 40), os veículos híbridos plug-in mais utilizados atualmente são em série, assim permitindo que a recarga da bateria aconteça via fonte externa.

Enquanto em paralelo, o motor ICE e ME são acoplados aos eixos de transmissão pôr duas embreagens independentes, assim, a propulsão pode ser realizada por ambos os motores (CAVAGLIANO, 2021).

Para MELLO (2010), conforme citado por CAVAGLIANO (2021, p.23), o modelo série/paralela, unifica as vantagens das duas topologias. Em relação à estrutura em série há uma ligação mecânica a mais no eixo de transmissão, enquanto a estrutura em paralela há uma máquina elétrica a mais, conhecida como gerador.

A figura III apresenta o esquema do sistema técnico de automóveis híbridos.

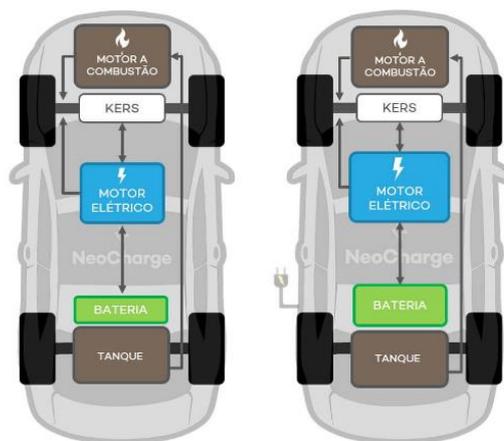


Figura III: Esquema de configuração técnico modelo híbrido
 Fonte: NeoCharge, 2021

Conclusões

A pesquisa abordou diferentes vetores energéticos e estratégias que a empresa EPT pode abordar para seu projeto de transição de matriz energética, no setor do transporte coletivo do município. Segundo Lassary (2022), os ônibus são considerados veículos de difícil descarbonização, principalmente se tiver a finalidade coletiva, e este se torna um grande desafio a ser vencido para se alcançar uma rede de transportes sustentável.

Assim, como mencionado por Nunes (2022), cada localidade deve respeitar suas particularidades, considerando a distância e topografia do trajeto, tempo de repouso, os meios de obtenção de energia e as condições comerciais, examinando estes fatores para a viabilidade do projeto em diferentes situações.

A partir da revisão bibliográfica realizada, constatou-se que do ponto de vista ambiental o melhor modelo de vetor energético é aquele que menos polui, ou seja, os elétricos. Porém, na opinião de Nunes, especialista entrevistado (2022), dependendo da finalidade do veículo e de fatores econômicos, de segurança, autonomia e pontos de recarga, este pode não ser a melhor opção. Em uma visão complementar, Lassary (2022), aponta que os híbridos atendem as vantagens dos dois modelos: ME e motor ICE. Logo, a pesquisa conclui que a EPT poderia considerar adotar os tipos: BEB e HEB, em escala de revezamento.

Além disso, após a realização de testes de autonomia, de acordo com a topografia dos percursos escolhidos, sendo positivo o resultado, Nunes (2022) entende que a transição deverá ser feita gradativamente, iniciando a transição com grupamento de linhas com percursos pavimentados. Então, deve-se adotar um percentual não agressivo, como 5% a 10%, nos contratos de serviços locados, dando preferência às linhas que possuem essas características apontadas pelos especialistas.

Para avaliar quais linhas têm maiores chances de obter resultados promissores, nos resultados das entrevistas foram indicados também a necessidade de se considerar a quantidade de horas que os ônibus operam, o tempo de cada viagem, a quantidade de viagens/dia e a distância percorrida.

Ademais, Nunes (2022) também acredita ser importante a empresa levar em

conta a origem da fonte de energia fornecida pela concessionária elétrica, pois o consumo irá aumentar. O projeto Sol do Cerrado da Vale conta com 766 Megawatts-pico (MWp), equivalente ao consumo de uma cidade de 800 mil habitantes (Vale, 2023). De acordo com IBGE (2021), Maricá conta com 167.668 habitantes, logo a cidade iria precisar de 160,54 MWp.

Cabe ressaltar que o artigo aponta os pontos fortes e fracos e as oportunidades e ameaças do mercado. Assim, as empresas de transporte coletivo, como a EPT, serão auxiliadas no planejamento da transição da matriz energética pelas equipes operacionais e de suprimentos para garantir melhores aquisições, sob as perspectivas ESG tornando a empresa mais sustentável e competitiva.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, minha família, minha orientadora Mônica Maria Campos, a Prefeitura Municipal de Maricá, a Empresa Pública de Transporte (EPT), a COPPE / UFRJ e a Vale por terem contribuído com a pesquisa de campo para avaliação dos resultados encontrados. Além do Instituto de Ciência, Tecnologia e Inovação de Maricá (ICTIM) pelo apoio financeiro à pesquisa através do seu Programa de Iniciação Científica, edição 2022.

Referências bibliográficas

AJANOVIC, A.; GLATT, A.; HAAS, R. **Prospects and impediments for hydrogen fuelcell buses**. Energy, [S.L.], v. 235, p. 121340, nov. 2021.

AZUAGA, D. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ, COPPE, 2000.

BRASIL - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Portaria ANP. 309/2001**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=182588> Acesso em: 28 de dezembro, 2022.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.

BASSI, R. E.; BUENO, M. J. C.; JACUBAVICIUS, Celso. **Sustentabilidade em Empresas de Alimentos: Multicasos**. INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797), v. 4, n. 2, p. 69-82, 2016.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, 2007.

BAYINDIR, K. Ç.; GÖZÜKÜÇÜK, M. A.; TEKE, A. **A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units**. Energy Conversion and Management, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 1305-1313. 2011.

CARVALHO, J. F. de. **O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009.

CAVAGLIANO, L. **Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição**

de veículos a combustão interna por veículos elétricos e veículos elétricos híbridos no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, graduação em engenharia mecânica. Universidade Estadual Paulista (Unesp) 2021.

DA SILVA, T. E. P. et al. **Enxofre: um poluente em potencial na composição do óleo diesel.** IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Salvador/BA 2013.

DATHEIN, R. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX.** Publicações DECON Textos Didáticos, v. 2, p. 8, 2003.

DE MATTOS, A. P. **Sistema de tração de um ônibus elétrico híbrido com pilhas a combustível e baterias.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

DE OLIVEIRA RUGERI, G. A.; GASPARIN, F. P. **Análise econômica e ambiental da substituição de ônibus de combustão interna por elétricos no transporte público de Porto Alegre.** Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2022.

DOMINICES, K. M. C. **Desenvolvimento e otimização da produção de etanol de primeira e segunda geração a partir da batata-doce (Ipomoea batatas Lam. (L)).** 1 recurso online (184 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP, 2017. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1632625>. Acesso em: 7 de dezembro de 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2022 – ano base 2021**, Rio de Janeiro, [s.l.], 2022, 67 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 30 de setembro, 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas da Eficiência Energética Brasil |2021: Relatório de Indicadores**, Rio de Janeiro, [s.l.], 2022, 83 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-651/Atlas2021_PT_2022_02_04.pdf. Acesso em: 30 de setembro, 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – 2021**, Rio de Janeiro, [s.l.], 2022, 81 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-688/NT-EPE-DPG-SDB-2022-02_Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis_2021.pdf. Acesso em: 29 de dezembro, 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional de 2022**, Rio de Janeiro, [s.l.], 2022, 264 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 29 de dezembro, 2022.

EPT – Empresa Pública de Transporte Maricá. **Sobre a EPT: História.** Disponível em: <https://www.eptmarica.rj.gov.br/index.php/empresa/historia>. Acesso em: 13 de janeiro, 2023.

FRANCISCO, W. C. **Óleo Diesel**. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/geografia/diesel.htm>. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

FREITAS, A. M. T. A. de. **Glicerina residual como agente lubrificante em óleo diesel**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, Ed. Atlas, 2017.

IBGE. **Cidades e Estados. Maricá**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/marica.html>. Acesso em: 16 de janeiro, 2023.

ISERHARDT, G. T. **Estudo para a redução dos efeitos do golpe de aríete no carregamento de vagão tanque com Diesel S10**. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. 2021

MAHMOUD, M.; GARNETT, R.; FERGUSON, M.; KANAROGLOU, P. **Electric buses: a review of alternative powertrains**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 62, p. 673-684, set. 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MELLO, P. M. A. S. **Estrutura e características de veículos elétricos e híbridos. Eutro à terra, Porto**. Revista Técnico-Científica, v. 6, n. 17, p. 17-26, 2010.

MENDES, F. E. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese de Doutado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

MENDES, G. G.; NUNES, L. de O. S. **Um estudo sobre os benefícios da utilização do turbocompressor em veículos automotores a combustão interna de ciclo Otto**. Faculdade Ciências da vida, 2021.

MILES, J.; POTTER, S. **Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project**. Research In Transportation Economics, [S.L.], v. 48, p. 357- 363. 2014.

MOREIRA, J. F. M.; D'ALMEIDA, A. L. **Indústria de petróleo e gás: acidentes relevantes no mundo**. III Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. V Workshop de Engenharia de Petróleo, Salvador-BA, 2018.

NEOCHARGE. Conheça os tipos de veículos elétricos. 2021.

Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Acesso em: 11 de janeiro, 2023.

OLIVEIRA, M. G. N. de; CRUZ, M. A. L.; FERREIRA, T. **Impactos causados pelo uso dos combustíveis fósseis e o uso do biocombustível como solução viável**. 2021.

PIERANTONELLI, M.; QUINTILLA, T. **Estudio de factibilidad de ómnibus eléctrico para la Universidad de Villa María**. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 23, 2019.

REIS, Pedro. **Saiba tudo sobre as normas do sistema Euro 5**. 2018. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/saiba-tudo-sobre-as-normas-do-sistema-euro5/>. Acesso em: 22 de dezembro, 2022.

RAMOS, LARRISA. **O que é ARLA 32 e qual sua importância para veículos?** Cobli Blog. 2020. Disponível em: <https://www.cobli.co/blog/o-que-e-arla-32/>. Acesso em :14 de janeiro, 2023.

RIBAU, J. P.; SILVA, C. M.; SOUSA, J. M.C. **Efficiency, cost and life cycle CO2 optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses**. Applied Energy, [S.L.], v. 129, p. 320-335. 2014.

SALVIANO, M. F., GROppo, J. D. e PELLEGRINO, G. Q. **Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia [online]. V. 31, n. 1, 2016.

SILVA C. da, L.; BARAÑANO, A. G. **Produção de biodiesel, métodos, perspectivas para o Brasil—uma revisão**. Revista Liberato, v. 20, n. 33, p. 41-56, 2019.

SILVA, E. T. C. **Ônibus elétrico – caminhos para um transporte sustentável e mais eficiente**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2022.

SROUJI, J.; FRANSEN, T; WASKOW, D. Ação climática ambiciosa dos países do G20 pode limitar o aquecimento global a 1,7°C. World Resources Institute [online], 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/acao-climatica-ambiciosa-dos-paises-do-g20-pode-limitar-o-aquecimento-global-17degc>. Acesso em: 28 de novembro de 2022

ÚNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Etanol energia sustentável**. Disponível em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, Roberto Michael. **Produção de biocombustíveis: A questão do balanço energético**. Revista de Política Agrícola, v. 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

VALE. **Nosso Futuro, Meio Ambiente: Energia**. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/web/esq/energia>. Acesso em: 14 de janeiro, 2023.

VALE. **Meio Ambiente: Vale inicia geração de energia renovável do Sol do Cerrado**. 2022. Disponível em: https://www.vale.com/pt/w/vale-inicia-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-renov%C3%A1vel-do-sol-do-cerrado/-/categories/985604?p_l_back_url=%2Fpt%2Fcentral-de-busca%3Fq%3Dsol%2Bdo%2Bcerrado. Acesso em: 14 de janeiro, 2023.

VIDAL, M. de F. **Produção e mercado de etanol**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.121, ago. 2020. (Caderno Setorial Etene).

YONG, J. Y.; RAMACHANDARAMURTHY, V. K.; TAN, K. M.; MITHULANANTHAN, N. **A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 49, p. 365-385, set. 2015.