

UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**VEÍCULOS HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO BRASIL: PROJETO E SIMULAÇÃO DE
POWERTRAIN AUTOMOTIVO POR MEIO DA AVALIAÇÃO DAS
ARQUITETURAS HÍBRIDAS PARA APLICAÇÃO DESSA TECNOLOGIA NA
INDÚSTRIA E MERCADO NACIONAL**

ANDRÉ AUGUSTO BASSACO

MARINGÁ – PR

2021

André Augusto Bassaco

**VEÍCULOS HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO BRASIL: PROJETO E SIMULAÇÃO DE
POWERTRAIN AUTOMOTIVO POR MEIO DA AVALIAÇÃO DAS
ARQUITETURAS HÍBRIDAS PARA APLICAÇÃO DESSA TECNOLOGIA NA
INDÚSTRIA E MERCADO NACIONAL**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel (a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Claudio Ichiba

MARINGÁ – PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO
ANDRÉ AUGUSTO BASSACO

**VEÍCULOS HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO BRASIL: PROJETO E SIMULAÇÃO DE
POWERTRAIN AUTOMOTIVO POR MEIO DA AVALIAÇÃO DAS
ARQUITETURAS HÍBRIDAS PARA APLICAÇÃO DESSA TECNOLOGIA NA
INDÚSTRIA E MERCADO NACIONAL**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR –
Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel (a) em
Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Me. Claudio Ichiba.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor – (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

VEÍCULOS HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO BRASIL: PROJETO E SIMULAÇÃO DE POWERTRAIN AUTOMOTIVO POR MEIO DA AVALIAÇÃO DAS ARQUITETURAS HÍBRIDAS PARA APLICAÇÃO DESSA TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA E MERCADO NACIONAL

André Augusto Bassaco

RESUMO

Este projeto pretende desenvolver as especificações de um *powertrain* automotivo híbrido, levando em conta os diferentes tipos de arquiteturas de *powertrain* que utilizam duas fontes de energia como meio de propulsão. Para isso, será realizado uma análise mercadológica do cenário nacional para entender a demanda de automóveis híbridos no Brasil, bem como as considerações sobre os fatores de emissões que diz respeito a cadeia de desenvolvimento desde a produção do veículo e geração de energia até o movimento efetivo do veículo pelas fontes disponíveis. Para comprovar a aplicabilidade dessa tecnologia no mercado nacional, será realizado simulações em ambiente computacional através do software ADVISOR, no qual permite simular um veículo em seu ciclo de condução gerando dados referentes a eficiência energética, torque e potência. Sendo assim, será possível comparar um veículo já em circulação com o seu equivalente híbrido.

Ao final, foi constatado que a arquitetura híbrida do tipo P2 se mostrou promissora no que diz respeito a eficácia da tecnologia, quando aplicada ao cenário estudado.

Palavras-chave: Eletrificação. Mobilidade. Sustentabilidade

ELETRIC AND HYBRID VEHICLE IN BRASIL: PROJECT AND SIMULATION OF AUTOMOTIVE POWERTRAIN THROUGH HYBRID LAYOUTS EVALUATION FOR APLICATION OF TECHNOLOGY IN NATIONAL INDUSTRY AND MARKET

ABSTRACT

This project intends to develop the specifications of a hybrid automotive powertrain, considering the different types of powertrain architectures that use two energy sources to propulsion. For this, a market analysis of the national scenario, will be carried out in order to meet the demand for hybrid cars in Brazil, as well as considerations on the emission factors regarding the development chain from vehicle production and energy generation to the actual power of the vehicle from the available sources. To prove the viability of this technology in the national market, simulations will be performed in a virtual environment through the software ADVISOR, which allows simulating a vehicle in its driving cycle, generating data related to energy efficiency, torque and power. Thus, it will be possible to compare a currently vehicle in circulation with its hybrid equivalent.

In the end, it was found that the P2 type hybrid architecture proved to be promising with regard to the efficiency of the technology, when applied to the studied scenario.

Keywords: Eletrification. Mobility. Sustainability

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Manual de Tecnologia Automotiva (BOSCH, 2005), existem fontes de energia (combustíveis) alternativas às tradicionais nas quais são derivadas do petróleo sendo o etanol (combustível à base álcool), GNC (Gás Natural Comprimido), GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e o biodiesel as mais conhecidas. Outra alternativa são os *Synfuels*, os combustíveis sintéticos, porém apresentam altos custos de produção envolvidos tendo um mercado restrito para a sua aplicação (BOSCH, 2005).

A alternativa que será abordada nesse artigo é a fonte de energia elétrica usada para gerar a propulsão do sistema motriz de um veículo. Embora seja comum pensar que a inovação tecnológica dos veículos elétricos seja recente, a participação dos elétricos tem uma expressividade no mercado desde a década de 1930, ainda que tenha sido tímida ou marginal naquele momento (BARAN e LEGEY, 2010).

A presença de veículos híbridos e elétricos vem aumentando nesses últimos 10 anos (ABVE, 2021). Isso incentiva a pesquisa e atuação profissional nessa tecnologia, em busca de uma efetiva participação nacional nesse setor. Neste trabalho, serão analisados primeiramente os fatores de impulsão desse mercado. Esses fatores são as metas de redução nas emissões, incentivos governamentais e aumento na demanda por veículos híbridos e elétricos.

Em seguida, pretende-se mostrar as informações necessárias que sustente a importância da atuação da engenharia nesse contexto, bem como especificar o tipo de configuração híbrida de um *powertrain* (“trem de força” do veículo) podendo ser do tipo série, paralelo ou serie-paralelo (TRINDADE, 2016). Com o uso dessas informações, será possível definir a configuração que melhor se encaixa no cenário brasileiro considerando os fatores de impulsão citados, a matriz energética do país, e o custo de implementação do projeto.

2 DESENVOLVIMENTO

Para o projeto de simulação em questão, será considerado algumas premissas técnicas e corporativas que esse segmento contempla. Serão consideradas como premissas corporativas

aliadas aos fatores de impulsão a análise do mercado alvo, segmento de veículo (luxo, SUV, compacto, etc.), tendências e legislações bem como orçamento do projeto relativo ao custo de

produção e custo final. Já as premissas técnicas, adequam as premissas corporativas à solução buscada considerando as tecnologias possíveis de serem aplicadas, estudo das arquiteturas híbridas, o potencial de redução das emissões, metodologias de produção, entre outros parâmetros de engenharia.

2.1 ANÁLISE MERCADOLÓGICA

A tecnologia dos veículos híbridos, que utiliza motores à combustão combinado à motores elétricos, vem sendo amplamente disseminada no setor automotivo, onde diversas montadoras, tradicionais ou entrantes, vêm aplicando essa solução em seus veículos. Segundo ABVE (2021), Associação Brasileira de Veículos Elétricos, com dados do mês de abril de 2021, circula no Brasil 49.559 veículos híbridos e elétricos (VHEs), com estimativa de chegar a 28 mil unidades desses até o fim de 2021, representando um aumento de 42% em relação ao ano anterior.

Outro fator importante diz respeito ao espaço para crescimento que o setor automotivo tem no país, pois, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a população do país se aproxima de 213 milhões de pessoas (IBGE, 2021), ao passo que considerando a frota de veículos leves no país de, aproximadamente, 59 milhões de automóveis (DENATRAN, 2021), conclui-se que para cada 10 habitantes existem, aproximadamente, 3 veículos leves. Em comparação com países como os Estados Unidos e Japão, havendo 8 e 6 respectivamente veículos a cada 10 habitantes (ANFAVEA, 2020; EPE, 2020b; WORLD BANK, 2020), portanto o Brasil oferece espaço para um aumento significativo de sua frota onde a oportunidade para veículos híbridos e elétricos é evidente.

2.2 INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS

Além das perspectivas positivas em relação ao mercado, a aquisição de VHEs no Brasil conta com incentivos governamentais onde é oferecido descontos no momento da aquisição, bem como nos impostos que incidem sobre o bem. Conforme Projeto de Lei 15.997 de 2014, o incentivo para aquisição desses veículos contempla descontos no Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), isenção total para elétricos e 50% para híbridos, bem como a criação de linhas de crédito prioritárias para o incentivo à produção de veículos movidos à propulsão elétrica e veículos híbridos (ABVE, 2021).

2.3 METAS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES

Não menos importante, as metas de redução das emissões vêm sendo pautadas cada vez mais e de modo mais incisivo estando entre os focos dos programas prioritários do “Rota 2030”, sendo eles o aumento da produtividade, diminuição do impacto ambiental, melhora da eficiência energética, incentivo à P&D e a transição para a indústria 4.0 (CBIE, 2020). No Brasil, de acordo com Centro Brasileiro de Infraestrutura (2020), o regime automotivo Programa Rota 2030, sucessor do Programa Inovar-Auto tem como objetivo a inserção global do setor automotivo no país de modo a alcançar o estado na arte na produção de veículos. Uma das premissas do programa é a rotulagem veicular de eficiência energética para todos os automóveis produzidos, evidenciando a preocupação com a eficiência global do powertrain automotivo, que tem relação direta com a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, o Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE) tem como objetivo controlar e regulamentar os níveis de emissões de gases de efeito estufa emitido por veículos automotores (CONAMA, 1986). O programa tem como objetivo reduzir os níveis de emissões, promover o desenvolvimento tecnológico do setor, criar programas de inspeção e manutenção para automóveis, promover a conscientização sobre a poluição do ar causada por veículos, promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis visando a redução das emissões e estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados (IBAMA, 2021).

Dessa maneira, as montadoras precisam adequar seus projetos às legislações, portanto a pesquisa relativa à eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias é fomentada e, dessa maneira, a alternativa da eletrificação e hibridização são evidentes e cada vez mais incentivada.

2.4 PERFIL DE CONDUÇÃO

De acordo com Souza (2010), em um projeto de *powertrain* híbrido é importante conhecer o perfil de condução dos motoristas ou as condições de utilização de uma determinada região e as características de desempenho dos veículos. Isso se deve por conta das diferentes configurações do trem-de-força se adequar melhor para ao tipo de uso dos veículos, urbano ou rodoviário, por exemplo. Segundo o Departamento Nacional de Transito (2021), o Brasil conta com uma frota de aproximadamente 110 milhões de veículos, sendo

que 53,57% são automóveis, 22,11% motocicletas e o restante distribuído entre caminhões, ônibus, entre outros.

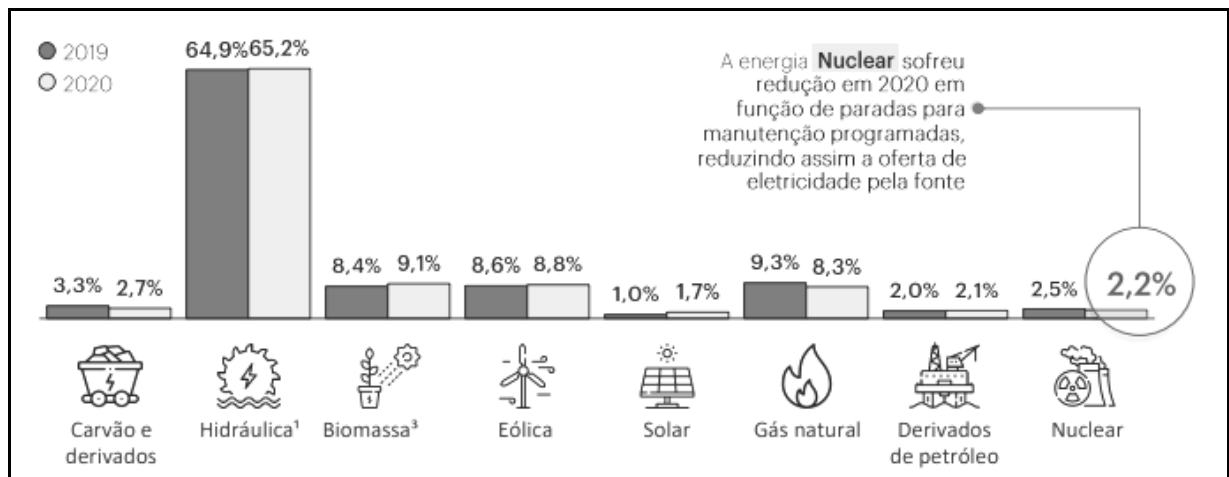
A maioria dos veículos sendo automóveis (53,57%) (DENATRAN, 2021), demonstra que a maioria dos condutores estão em zonas urbanas, onde o ciclo de condução se caracteriza pelo “anda-para” no qual as soluções de veículos híbridos e elétricos são mais efetivas.

2.5 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2021) e o Ministério de Minas e Energia (2021), 48,4% das fontes de energia no país são renováveis, sendo as maiores representantes desse percentual a fonte de energia por biomassa (19,1%) e energia hidráulica (12,6). Em contrapartida, 51,6% das fontes são não renováveis das quais 33,1% são representados pelo petróleo e seus derivados, evidenciando a necessidade e oportunidade de ampliação da participação das fontes renováveis.

Quando se fala da matriz elétrica do Brasil, o percentual de fontes renováveis alcança 84,8%, no qual 65,2% provém das hidrelétricas, seguida da biomassa com 9,1% (EPE, 2021). É possível verificar as informações sobre a matriz elétrica brasileira na figura 1.

Figura 1 - Distribuição da matriz elétrica brasileira em relação as suas fontes.



Fonte: EPE, 2021

Levando em conta a necessidade de suprimento de energia elétrica para os VHEs, o cenário ideal (RIBEIRO, 2015) é aquele no qual a fonte dessa energia seja gerada através dos meios renováveis já citados, para que as premissas dos VHEs sejam cumpridas, dentre elas as principais são a eficiência energética, redução nas emissões e a diminuição no consumo de

combustível. Em locais onde mais de 80% da energia elétrica advém de usinas termelétricas e de carvão, com a China e outros países europeus, a utilização de veículos elétricos produzem maiores valores de emissões que os veículos convencionais por conta da matriz elétrica do país (ACEEE, 2015).

2.6 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Veículos híbridos utilizam duas ou mais fontes ou sistemas de armazenamento de energia para gerar a propulsão. Um veículo híbrido elétrico (VHE), por exemplo, contém um ou mais motores elétricos e um sistema de armazenagem de energia elétrica, além do motor de combustão interna (MCI) (TRINDADE, 2016).

2.6.1 Objetivos da Hibridização Veicular

DENTON (2016) define os principais objetivos de um powertrain híbrido sendo a redução no consumo de combustível, a redução nas emissões e o incremento de torque e potência ao sistema de propulsão. A hibridização permite que o MCI atue nas melhores faixas de eficiência, bem como suas dimensões podem ser reduzidas (*downsizing*), diminuindo os custos de fabricação desses motores além da contribuição na redução do peso do veículo.

2.6.2 Classificação dos Veículos Híbridos

Os VHEs têm diversas categorias (DENTON, 2016), arquiteturas e sub-arquiteturas nas quais definem o grau de hibridização (moderada ou profunda), a principal fonte de energia (elétrica ou da combustão), o nível de complexidade do *powertrain* e seus sistemas de controle, bem como a eficiência global do sistema e sua integração energética.

De modo geral, os VHEs podem ser classificados como *Mild Hybrid*, *Strong Hybrid*, *Plug-in Hybrid* e *Start/Stop* Sistema (DENTON, 2016).

Por conta de a tecnologia dos veículos híbridos não ser tão disseminada no Brasil, por vezes são necessários utilizar os termos em inglês citados, nos quais serão esclarecidos no decorrer do artigo.

A tabela 1 mostra as principais funções que cada categoria ou classificação oferece, desde as funções mais simples até as mais complexas.

Tabela 1 - Funções disponíveis para cada categoria

Classificação \ Função	Start/Stop	Regeneração	Assistência Elétrica	Modo Elétrico	Carga em ponto de Carregamento
Start/Stop System	✓	-	-	-	-
Mild Hybrid - mHEV	✓	✓	✓	-	-
Strog Hybrid - HEV	✓	✓	✓	✓	-
Plug-in Hybrid - PHEV	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Eletric and Hybrid Vehicle (pág. 59) - DENTON, Tom (2016)

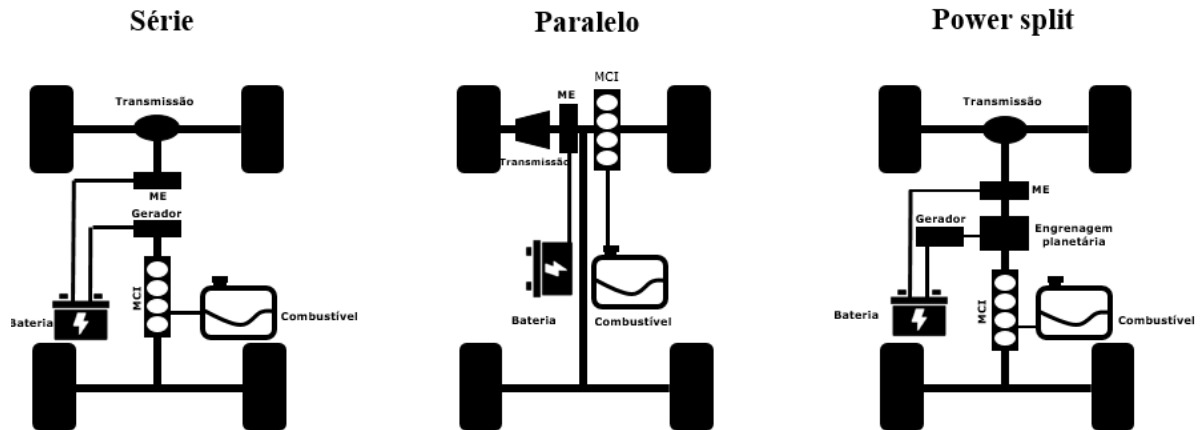
De acordo com a tabela acima, os veículos *Start/Stop* contam apenas com esta função, enquanto os veículos Híbridos *Plug-in* têm a possibilidade da utilização do sistema *Start/Stop*, Frenagem Regenerativa, Assistência Elétrica para incremento de torque e potência, possibilidade de condução no Modo Elétrico (MCI OFF), bem como a possibilidade de carregar as baterias em postos de carregamento.

Conforme aumenta o número de funções em um automóvel híbrido, a complexidade do *powertrain* e em seus sistemas de controle também é acentuado. Além disso, os custos de projeto e implementação também sofrem com esse aumento, portanto é importante levar isso em consideração ao definir as premissas e funções requeridas do projeto de acordo com Trindade (2016).

2.6.3 Arquiteturas e Sub-Arquiteturas

Além das classificações apresentadas, os veículos híbridos podem ser divididos através dos diferentes *layouts* ou arquiteturas que são definidos para atender as demandas de acordo com os objetivos do projeto. São elas as arquiteturas em série, em paralelo ou série-paralelo conforme apresentadas na figura 2.

Figura 2 - Arquiteturas híbridas de veículos



Fonte: Autor

Como pode ser observado na figura acima, a arquitetura em série se caracteriza pelo sistema de propulsão, MCI e motor elétrico, estarem em série, no qual o funcionamento do MCI movimenta o gerador de energia elétrica que por sua vez é armazenada na bateria e, posteriormente, utilizada para movimentar o motor elétrico. Já na arquitetura paralela, os dois sistemas motores podem funcionar individualmente ou em conjunto para promover a movimentação do veículo. No sistema *power-split*, uma engrenagem planetária integra o acoplamento entre dois motores elétricos, que podem atuar como geradores, e um MCI, sendo o funcionamento dos três motores combinados e balanceados através do sistema planetário.

Neste trabalho, será dado foco às arquiteturas em paralelo pois algumas delas se adequam às condições ou premissas do projeto voltado para o mercado e a realidade brasileira.

2.6.4 Sub-Arquitetura Paralelo

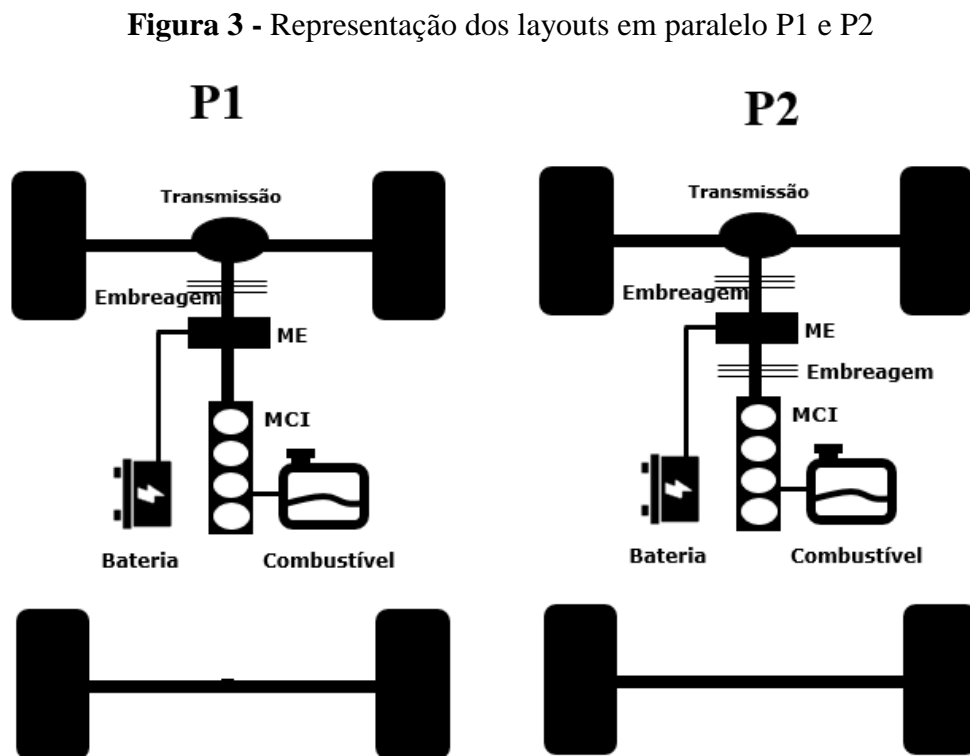
Segundo SILVA (2017), nos layouts em paralelo, os sistemas de propulsão elétrica e mecânica são acoplados no mesmo sistema de transmissão. Essa configuração possibilita a operação individual ou conjunta de ambos os motores de tração.

Conforme as premissas e fatores de impulsão considerados e analisados para o projeto, é indicado utilizar as sub-arquiteturas paralelo para o contexto apresentado pois apresentam menor custo de implementação, isto é importante tendo em vista a sensibilidade ao custo que o mercado nacional apresenta, bem como a menor complexidade de modificação do *powertrain* em caso de adaptação de um modelo pré-existente. Ainda assim, os níveis de

eficiência energética dessa configuração são expressivas e trazem benefícios ambientais, além dos fatores de redução no consumo e incremento de torque e potência.

Dentre as sub-arquiteturas em paralelo, comumente chamadas de P0, P1, P2, P3 e P4, será dado foco nas arquiteturas P1 e P2 pois apresentam menor custo de projeto e implementação em relação as configurações posteriores (P3 e P4), tendo em vista que estas recebem um número maior de componentes e aumento na complexidade geral do projeto, enquanto as arquiteturas P1 e P2 ainda demonstram ganhos energéticos e a possibilidade de utilização no modo elétrico (P2) mantendo níveis menores de complexidade conforme apresentado no Apêndice A, no qual demonstra as diferenças entre essas sub-arquiteturas.

A figura 3, ilustra as arquiteturas P1 e P2, explicitando as semelhanças e diferenças entre elas.



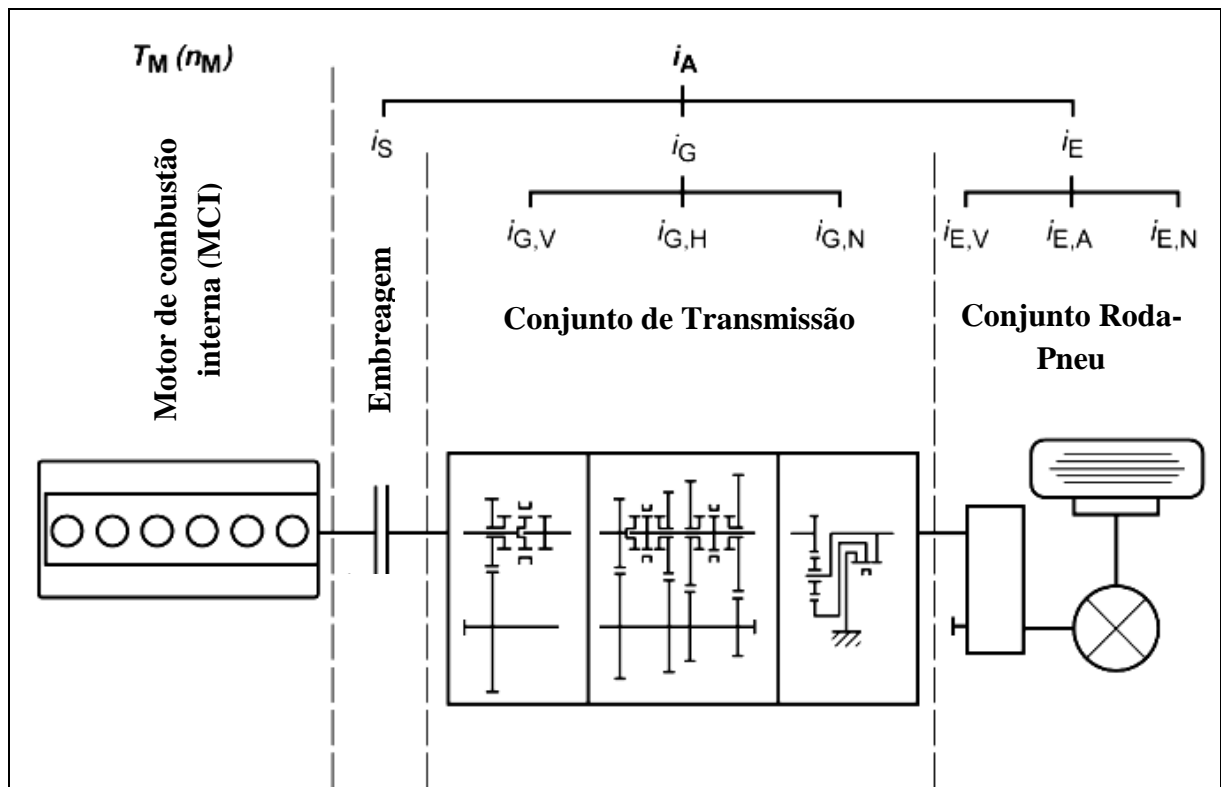
Fonte: Autor

Conforme observado na figura acima, a diferença entre os layouts é a presença de uma embreagem entre MCI e ME, no qual permite acoplar e desacoplar os dois motores fazendo com que seja possível a condução em modo elétrico quando apenas o ME propulsiona o trem de força realizando o movimento do veículo.

2.7 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Ao analisar a eficiência do powertrain de um veículo, se faz uma abordagem do tanque à roda onde se leva em conta as perdas no MCI, os acoplamentos mecânicos (transmissão e diferencial) e perda na rolagem do sistema de rodas e pneus segundo o Naunheimer et al. (2011). Veja a representação na figura 4.

Figura 4 - Estrutura hierárquica de um trem-de-força (*powertrain*)



Fonte: Naunheimer et al., 2011, p. 101

Conforme Naunheimer et al. (2011), para obter a razão de eficiência do trem-de-força (i_A), deve-se utilizar a seguinte equação:

$$i_A = i_S \cdot i_G \cdot i_E \quad (1)$$

A equação 1 mostra que a razão global do trem-de-força, se dá pela multiplicação entre as razões de cada conjunto i_S , i_G e i_E sendo, respectivamente, embreagem, conjunto de transmissão e conjunto roda-pneu.

Da mesma maneira, pode-se obter a razão de eficiência do *powertrain*, considerando que cada um dos conjuntos e o MCI têm sua eficiência e que a multiplicação desses termos resulta na eficiência global do trem-de-força. A eficiência de cada conjunto, pode ser obtido através de um balanço de energia. Assim, a razão entre a energia de saída (E_s) pela energia de entrada (E_e) obtém o valor de eficiência (ÇENGEL, 2011).

$$\eta_A = \eta_{MCI} \cdot \eta_S \cdot \eta_G \cdot \eta_E \dots \dots \dots (2)$$

Similar a equação 1, a equação 2, mostrada acima, leva em consideração a eficiência do MCI (η_{MCI}), da embreagem (η_S), do conjunto de transmissão (η_G) e do conjunto roda-pneu (η_E). A multiplicação desses fatores resulta na eficiência global do trem-de-força.

De acordo com o Berry et al. (2009) do MIT Electric Vehicle Team, a eficiência dos veículos convencionais do tanque à roda é de 19% a 24%, dependendo da eficiência de cada componente citado acima.

Para os veículos totalmente elétricos, o valor de eficiência é de, aproximadamente, 76% (TRINDADE, 2016).

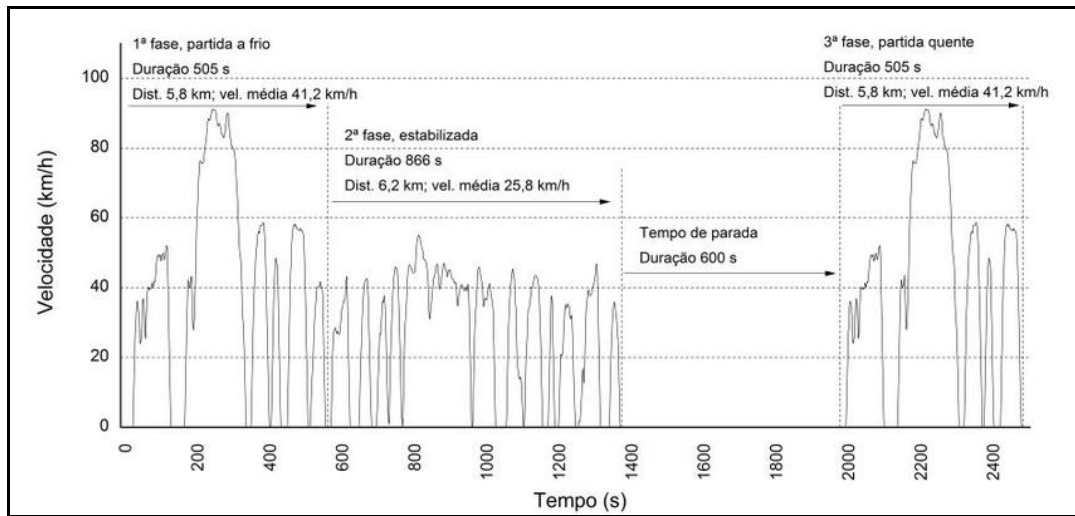
Com a hibridização, a aumento na eficiência para as arquiteturas paralelas P1 e P2 alcança valores (Ciclo de Condução NEDC) de 15% e 30%, respectivamente (DENTON, 2016). Vale ressaltar que o maior incremento na eficiência da configuração P2, é justificado pela possibilidade de condução no modo totalmente elétrico.

2.8 SIMULAÇÃO

Conforme mencionado, esse trabalho se utilizará de simulações utilizando o ADVISOR (MATLAB/Simulink) para ilustrar os níveis de eficiência de um veículo convencional compacto e compará-lo com seu equivalente híbrido paralelo, P1 e P2. As informações de entrada no software referem-se ao veículo GM Onix (1,4 [MJ/km]), no qual, atualmente, é um dos modelos mais econômicos do mercado cujo informações técnicas estão demonstradas no Apêndice B.

Os dados de entrada para a simulação estarão disponíveis no Apêndice C. Esses dados são referentes a configuração do *powertrain* desejada, motorização, baterias, massa do veículo, entre outras informações que precisam ser inseridas para a simulação.

Além disso, será utilizado o ciclo de condução de acordo com a NBR6601/2021, o FTP-75 (Federal Test Procedure) mostrado na figura 5.

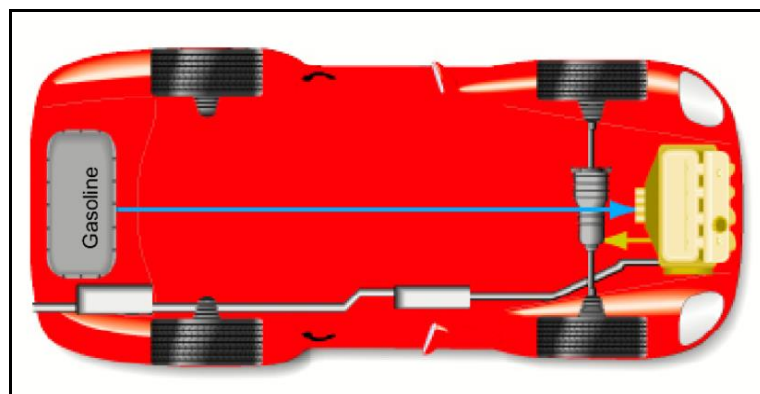
Figura 5 - Ciclo de condução FTP-75

Fonte: NBR6601/2021

O ciclo de condução demonstrado acima, ilustra a variação de velocidade no tempo. É importante observar as variações de velocidade durante o ciclo, bem como os momentos de velocidade constante. Além disso, os testes contemplarão apenas a região da 1ª fase e 2ª fase apresentadas no gráfico.

2.8.1 Powertrain Convencional

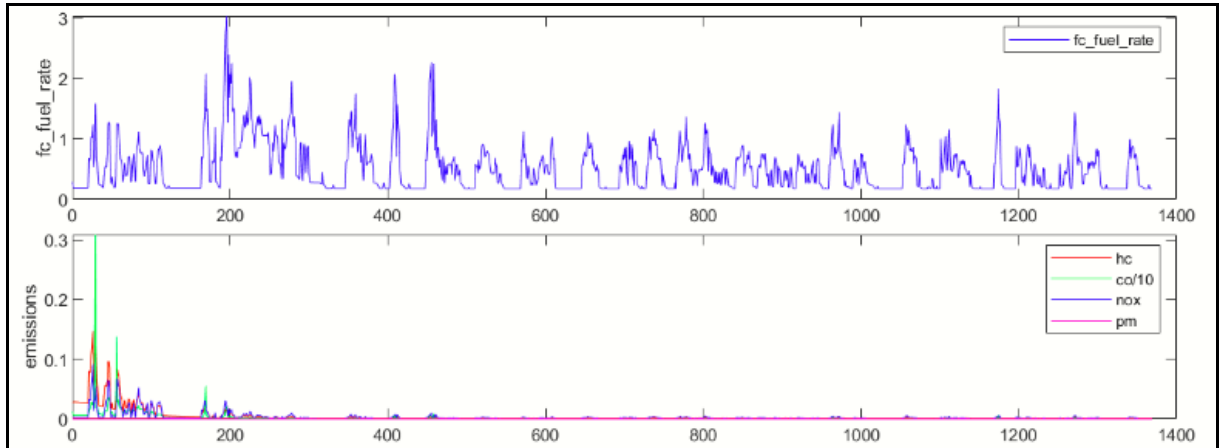
No ambiente ADVISOR (Matlab/Simulink), foi realizado a simulação da condução de um veículo convencional, conforme figura 6, no qual foi obtido resultados a respeito do consumo de combustível, nível de emissões e aceleração.

Figura 6 - Powertrain convencional

Fonte: Autor (ADVISOR)

Nota-se que para o *powetrain* convencional, temos a presença do tanque de combustível, o motor de combustão interna (MCI) e a transmissão do movimento até chegar as rodas.

Figura 7 - Variação no consumo de combustível níveis de emissões durante o ciclo



Fonte: Autor (ADVISOR)

Na figura 7, o primeiro gráfico demonstra a variação do consumo de combustível ao longo do trecho e segundo, mostra os níveis de emissões de gases ao longo do ciclo deixando evidente o maior nível de emissão no início do ciclo, quando se tem o MCI (máquina térmica) em sua faixa de menor eficiência por conta da maior temperatura ainda não ter sido alcançada.

Figura 8 - Valores de emissões e relativos ao consumo de combustível

Fuel Consumption (L/100 km)	7.7		
Gasoline Equivalent	7.7		
Distance (km)	12		
Emissions (grams/km)			
			Standards
HC	CO	NOx	PM
0.499	2.128	0.335	0

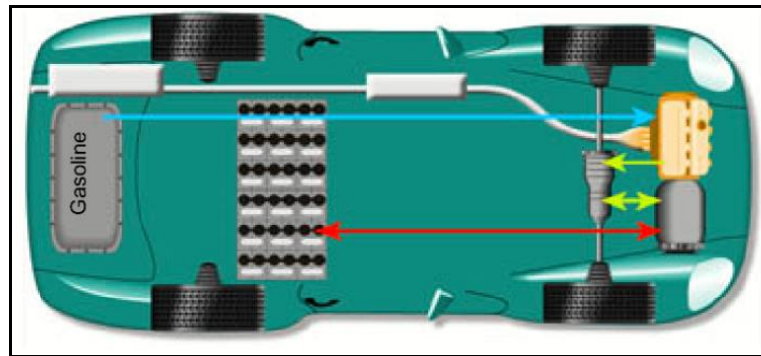
Fonte: Autor (ADVISOR – Matlab/Simulink)

Conforme imagem acima, é possível verificar o consumo de combustível do veículo no ciclo, bem como os níveis de emissões representados em gramas por quilômetro percorrido para a arquitetura convencional.

2.8.1 *Powertrain* híbrido paralelo P1

Assim como o *powertrain* convencional, o híbrido paralelo é mostrado na figura 9 demonstrando o layout dessa configuração.

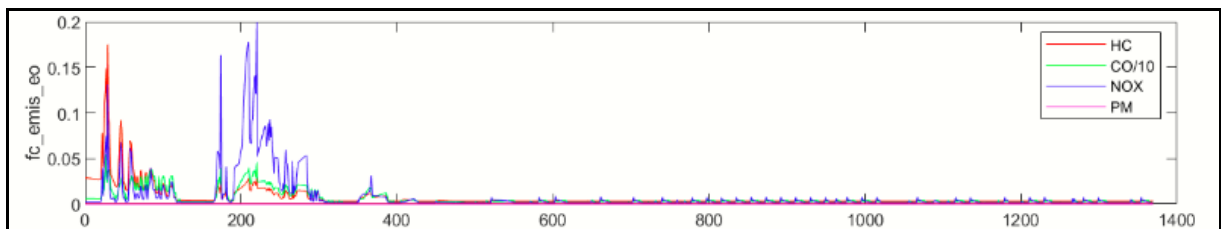
Figura 9 - *Powertrain* híbrido paralelo P1



Fonte: Autor (ADVISOR)

De acordo com a figura acima, é possível identificar os componentes que compõem o *powertrain* onde, pode-se verificar o tanque de combustível e a bateria como fontes de energia, os dois motores (MCI e motor elétrico) acoplados e a transmissão do movimento recebido pelos motores até prover o movimento das rodas.

Figura 10 – Níveis de emissões do híbrido P1



Fonte: Autor (ADVISOR)

Da mesma maneira mostrada na simulação anterior, a figura acima mostra o gráfico das emissões no ciclo utilizando a configuração híbrido paralelo P1 no qual ficou evidente os maiores picos de emissões, principalmente do NOx (Óxido de nitrogênio).

Figura 11 – Valores de consumo de combustível e de emissões no ciclo

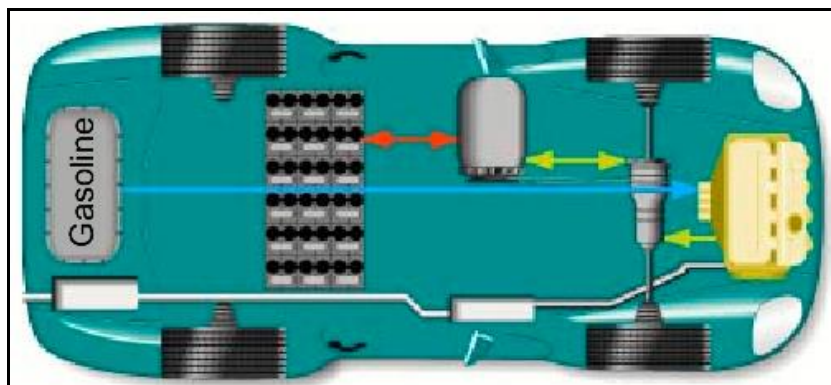
Fuel Consumption (L/100 km)		10.9	
Gasoline Equivalent		10.9	
Distance (km)		6.3	
Emissions (grams/km)			Standards
HC	CO	NOx	PM
0.774	3.385	0.401	0

Fonte: Autor (ADVISOR)

Conforme imagem acima, é possível verificar o consumo de combustível do veículo no ciclo, bem como os níveis de emissões representados em gramas por quilômetro percorrido para a arquitetura híbrido paralelo P1.

2.8.1 *Powertrain* híbrido paralelo P2

Por último, foi submetido o veículo com a configuração híbrido paralelo P2, no qual o layout está sendo mostrado na figura 12.

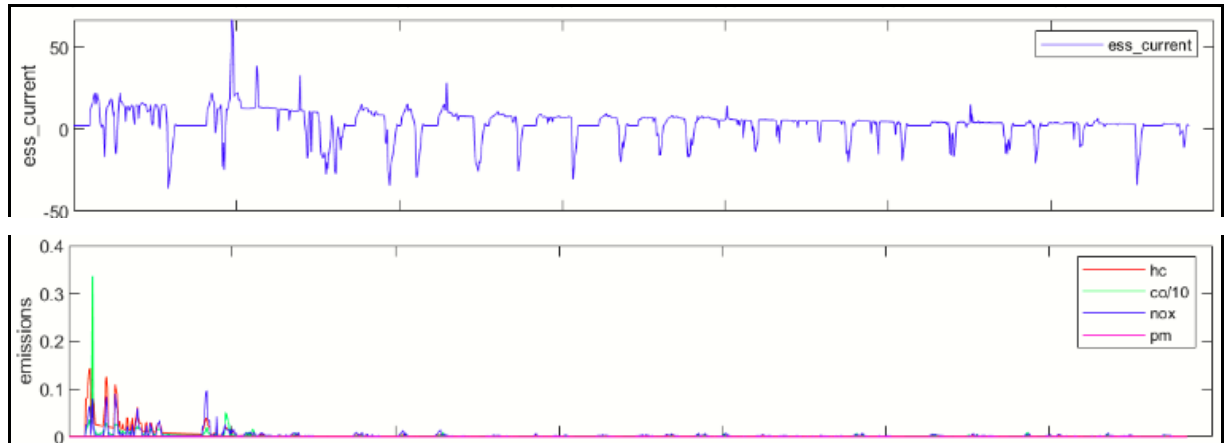
Figura 12 - *Powertrain* híbrido paralelo P2

Fonte: Autor (ADVISOR)

Na imagem mostrada acima, é ilustrado o tanque de combustível e baterias, os dois motores, que podem operar independentes, e o conjunto de transmissão que gera movimento às rodas.

Com essa configuração, após a submissão dela aos testes, foram obtidos os gráficos demonstrados na figura 13.

Figura 13 – Operação do motor elétrico e níveis de emissões



Fonte: Autor (ADVISOR)

No primeiro gráfico, é demonstrado o ganho e gasto energético no motor elétrico, na primeira situação operando como motor e na segunda operando com gerador.

Da mesma maneira como nas outras simulações realizadas, foi gerado os dados de emissões e consumo de combustível para a configuração em questão, conforme mostrado na figura 14.

Figura 14 – Valores de consumo de combustível e de emissões no ciclo

Fuel Consumption (L/100 km)		7.3	
Gasoline Equivalent		7.3	
Distance (km)		12	
Emissions (grams/km)			Standards
HC	CO	NOx	PM
0.388	2.161	0.295	0

Fonte: Autor (ADVISOR)

Conforme imagem acima, é possível verificar o consumo de combustível do veículo no ciclo, bem como os níveis de emissões representados em gramas por quilômetro percorrido para a arquitetura híbrido paralelo P2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Contemplando os dados obtidos nas simulações e organizando-os para que fique mais claro a leitura e a comparação entre as diferentes arquiteturas submetidos ao ciclo de condução, obteve-se as informações mostradas na Tabela 2. Vale ressaltar que além das grandezas apresentadas, a aceleração também foi medida com o objetivo de evidenciar a assistência do motor elétrico e também será um fator de comparação entre as configurações analisadas.

Tabela 2 – Comparativo entre os dados obtidos em ambiente de simulação

Principais grandezas medidas	Convencional	Híbrido Paralelo P1	Híbrido Paralelo P2
Consumo de combustível [km/L]	12,98	9,17	13,69
Emissão de HC [g/km]	0,499	0,775	0,388
Emissão de CO [g/km]	2,128	3,386	2,161
Emissão de NOx [g/km]	0,335	0,405	0,295
Aceleração 0-96,6 [s]	16,8	18,5	10,8

Fonte: Autor (ADVISOR)

Observando os resultados obtidos mostrados na tabela acima, é possível constatar que a configuração híbrido paralelo P2, se mostra com maiores vantagens no que diz respeito às principais variáveis medidas, quando comparado com os resultados da simulação realizada com o veículo na configuração P1. O layout P2 obteve 5% de melhora na autonomia, aliado a 36% na redução do tempo durante a rampa de aceleração e ainda reduziu a emissão de HC (Hidrocarboneto) e NOx (Óxido de nitrogênio) em 22% e 12% respectivamente. Um ponto de atenção em relação a emissão de CO deve ser levantado pois esse parâmetro apresentou aumento de 2% no teste com o *powertrain* híbrido.

No entanto, ao analisar os dados para a sub-arquitetura P1, nota-se que houve aumento no consumo de combustível (29%), aumento no tempo de aceleração (10%) e também um aumento médio de 45% nas emissões dos gases HC, NOx e CO.

4 CONCLUSÃO

A proposta deste artigo foi de apresentar as premissas de um projeto de um veículo para uma certa região. Foi visto que alguns fatores de impulsão são imprescindíveis ao

idealizar o projeto, sendo eles a análise do mercado que irá receber a tecnologia, os incentivos e travas governamentais relativos ao projeto, as metas de redução das emissões aplicadas ao setor automotivo, o perfil de condução predominante da região em foco e a matriz elétrica do país ou região responsável pelo fornecimento da energia demandada pelo veículo.

A exposição das premissas é seguida pela apresentação da tecnologia dos veículos híbridos e cada uma de suas classes e subclasses, deixando em evidência os objetivos da hibridização através de seus pontos positivos, sendo eles a diminuição no consumo de combustível, diminuição das emissões de gases de efeito estufa, assistência do motor elétrico e a recuperação de energia cinética. Ainda sobre a tecnologia dos veículos híbridos, foi detalhado a arquitetura híbrido paralelo, que por sua vez teve as suas variações demonstradas e duas delas (P1 e P2) utilizadas como parâmetro no momento da simulação em ambiente computacional.

A Simulação foi realizada em ambiente computacional através do Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR), que por sua vez é um suplemento do Matlab/Simulink. Nesse ambiente foi inserido informações sobre o veículo convencional utilizado como referência no que tange suas especificações dinâmicas, bem como um veículo híbrido equivalente utilizando uma arquitetura híbrido paralelo P1 e P2. Além disso, vale ressaltar que cada um dos veículos em questão foi submetido ao ciclo de condução presente na NBR6601/2021, denominado FTP-75.

A partir das simulações realizadas, foram obtidos dados referentes ao consumo de combustível, emissões de gases de efeito estufa e o tempo para atingir uma determinada velocidade. Com essas informações agrupadas, foi concluído que a arquitetura P1 não apresentou ganho em nenhum dos parâmetros analisados o que pode ser resultado da baixa tensão da bateria, baixa potência do motor elétrico e o aumento de perda de energia pelos acoplamentos, sistemas de transmissão, controle de energia e o próprio aumento da massa do veículo por conta desses componentes. Portanto, para uma pesquisa futura, seria interessante averiguar qual aplicação seria mais vantajosa para receber a configuração P1.

Já a configuração P2 mostrou ótimos resultados em seus parâmetros obtidos, seja na melhoria da autonomia do veículo aliada a redução das emissões, além da diminuição expressiva no tempo de aceleração. Vale lembrar que apenas a emissão de CO (Monóxido de carbono) no layout P2 ficou acima do modelo convencional e, isso também permite uma oportunidade de pesquisar de forma específica o motivo desse fato ter ocorrido. Foi levantado a hipótese de que com o auxílio do motor elétrico no início do ciclo, o motor de combustão

interna apresentou um tempo maior para atingir a temperatura ideal, na qual pode ter interferido na maneira como a reação de combustão se deu em seu interior.

Por fim, para trabalhos futuros relacionados ao tema abordado, deve se levar em consideração a possibilidade de levantar os custos envolvidos no projeto e acrescentar ao quadro comparativo dos *powertrains*, já o fator financeiro também é de suma importância em um projeto, principalmente quando se trata de países como o Brasil, pois como já foi visto, é um território sensível ao custo de projeto e aquisição.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **Câmara de SP destrava benefício para elétricos**. Disponível: <<http://www.abve.org.br/camara-de-sp-destrava-beneficio-para-eletricos/>> Acesso em: 22 jul. 2021.
- ANFAVEA; EPE; WORLD BANK. **Demanda de Energia dos Veículos Leves: 2021-2030**. Disponível: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-569/Demanda_Ve%C3%ADculos_Leves_2021_2030_dez2020_para-publicacao%20-%20Dados%20Abertos.xlsx> Acesso em: 01 set. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6601: Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento**. Rio de Janeiro. 2021.
- ABVE. Associação Brasileira de Veículos Elétricos. **ABVE projeta 28 mil veículos eletrificados em 21**. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/abril-bate-recorde-abve-preve-28-mil-ves-em-2021/>>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- BOSCH **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25ª edição. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 2005.
- BARAN, R; LEGEY, L F. L. **Veículos elétricos - história e perspectivas no Brasil** in XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2010, Rio de Janeiro. BNDS setorial, 2010.
- BERRY, I et al. **What's the Deal with Hybrid and Electric Cars?** MIT Electric Vehicle Team, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, CA, 2009.
- CBIE. **O que é Rota 2030?**. Disponível: < <https://cbie.com.br/artigos/o-que-e-o-rota-2030>> Acesso em: 22 jul. 2021
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 18, 17 de junho de 1986** Ministério do Meio Ambiente. 1986
- ÇENGEL, Y A.; BOLES, M A.. **Termodinâmica**. ed 7, Porto Alegre, RS: AMGH, 16 mai. 2013
- DENTON, T. **Electric and Hybrid Vehicles**. New York: Routledge, 2016
- DENATRAN. **Frota de Veículos – 2021**. Disponível: < https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/estatisticas/renavam/2021/agosto/Frota_Reg_UF-Tipo_Modelo_Agosto_2021.xlsfrota-reg-uf-tipo-modelo-o6-agosto-2021.xls> Acesso em: 01 set. 2021
- EPE. **Balço Energético Nacional – Relatório Síntese 2021**, Ministério de Minas e Energia - Rio de Janeiro, RJ, 2021.

IBGE. **Projeção da População do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>> Acesso em: 20 out. 2021.

IBAMA. **Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve)**. Disponível: <<https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>> Acesso em: 01 jul. 2021

NAUNHEIMER, H et al. **Automotive Transmissions – Fundamentals, Selection, Design and Application**. Berlin: Springer, 2011

RIBEIRO, D. et al. **The 2015 City Energy Efficiency Scorecard 2015**. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). Washington, DC, 2015.

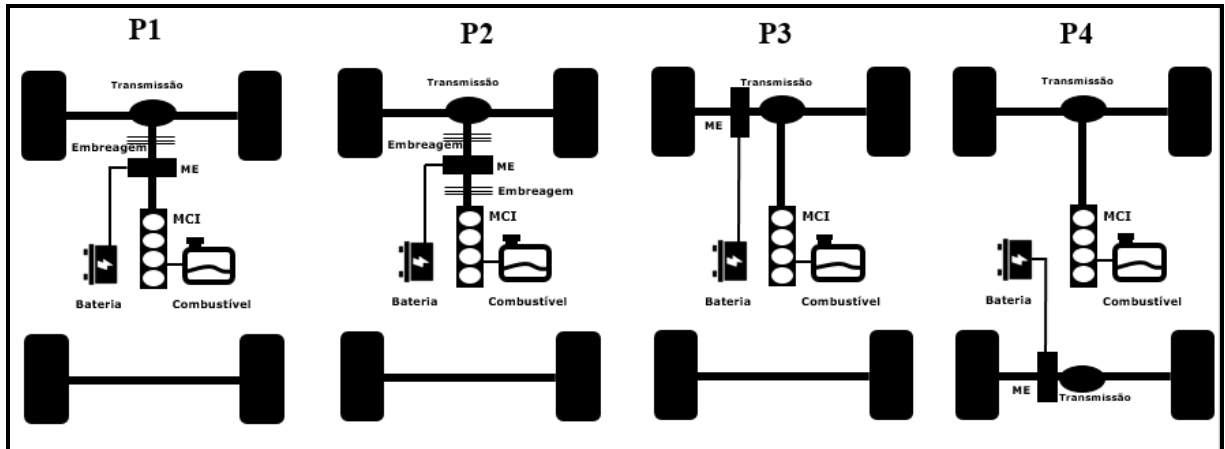
SILVA, R. A. **Avaliação da Híbridização de um Veículo Híbrido Nacional Compacto Utilizando Arquitetura Paralela de Eixos Separadas**. Dissertação de Mestrado. – Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2017.

SOUZA, R B. **Uma visão sobre o balanço de energia e desempenho em veículos híbridos** 2010. Dissertação de Mestrado. – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, 2010.

TRINDADE, I. M. **Modelagem, Controle e Otimização de Consumo de Combustível para um Veículo Híbrido Elétrico Série-Paralelo** 2016. Dissertação de Mestrado. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2016.

APÊNDICE A – SUBARQUITETURAS HÍBRIDO PARALELO

Figura 15 – Layouts das subarquitecturas híbrido paralelo P1, P2, P3 e P4



Fonte: Autor

APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES DO VEÍCULO REFERÊNCIA

Figura 16 – Especificações do veículo Onix 2021

MOTOR	1.0 T	1.0
Combustível	Etanol / Gasolina	
Número de cilindros	3 em linha	
Número de mancais	4	
Sequência de ignição	1-2-3	
Diâmetro do cilindro	74 mm	
Curso do cilindro	77,49 mm	
Cilindrada	999 cm ³	
Marcha lenta	780 rpm +/- 50 (AT) 900 rpm +/- 50 (MT)	825 rpm +/- 50 (MT)
Taxa de compressão	10.5 : 1	
Potência máxima (ABNT - NBR ISO 1585)	115,6 CV (85 kW) a 5500 rpm (gasolina e etanol)	77,5 CV (57 kW) a 6.400 rpm (gasolina) 81,6 CV (60 kW) a 6.400 rpm (etanol)
Torque máximo (ABNT - NBR ISO 1585)	160 Nm a 2000 rpm (gasolina) 165 Nm a 2000 rpm (álcool)	95 Nm a 4100 rpm (gasolina) 104 Nm a 4100 rpm (álcool)

Fonte: GM source

Figura 17 – Especificações do veículo Onix 2021

MOTOR	1.0				1.0 T							
Combustível	Etanol / Gasolina											
Transmissão	MT				MT		AT					
Versão	1LT	2LT	5LT	8LT	3LT	LTZ	1LS	4LT	LTZ	Midnight	PR1	PR2
Peso bruto total	1414	1420	1418	1419	1448	1454	1457	1476	1482	1482	1487	1492
Peso máximo permitido no eixo (dianteiro)	830											
Peso máximo permitido no eixo (traseiro)	780											
Peso em ordem de marcha	1039	1045	1043	1044	1073	1079	1082	1101	1107	1107	1112	1117
Peso em ordem de marcha (dianteiro)	635	639	638	639	657	661	676	688	692	692	696	698
Peso em ordem de marcha (traseiro)	404	406	405	405	416	418	406	413	415	415	416	419
Carga útil	375											

Fonte: GM source

APÊNDICE C – DADOS DE ENTRADA EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Figura 18 – Dados de entrada para a simulação do veículo convencional

The screenshot shows a software interface for configuring a conventional vehicle simulation. It includes a 'Load File' dropdown set to 'CONVENTIONAL_defaults_in', a 'Drivetrain Config' dropdown set to 'conventional', and a list of components with checkboxes and dropdown menus for version and type. A summary table on the right shows 'Scale Components' with columns for max pwr (kW), peak eff, and mass (kg). At the bottom, there are radio buttons for drive type (front wheel drive is selected) and a 'Cargo Mass' input field set to 536. The 'Calculated Mass' is shown as 1430.

		version		type		Scale Components		
			?		?	max pwr (kW)	peak eff	mass (kg)
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehicle		?	VEH_SMCAR				592
<input checked="" type="checkbox"/>	Fuel Converter	ic	?	FC_SI41_emis	si	57	0.34	173
<input checked="" type="checkbox"/>	Exhaust Aftertreat		?	EX_SI		#of mod	V nom	15
<input type="checkbox"/>	Energy Storage		?	ess options				
<input type="checkbox"/>	Energy Storage 2		?	ess 2 options				
<input type="checkbox"/>	Motor		?	MC_AC124_EV1_draft				
<input type="checkbox"/>	Motor 2		?	motor 2 options				
<input type="checkbox"/>	Starter		?	starter options				
<input type="checkbox"/>	Generator		?	gc options				
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmission	man	?	TX_5SPD	man		1	114
<input type="checkbox"/>	Transmission 2		?	trans 2 options				
<input type="checkbox"/>	Clutch/Torq. Conv.		?	clutch/torque converter options				
<input type="checkbox"/>	Torque Coupling		?	TC_DUMMY				
<input checked="" type="checkbox"/>	Wheel/Axle	Crr	?	WH_SMCAR	Crr			0
<input checked="" type="checkbox"/>	Accessory	Const	?	ACC_CONV	Const			
<input type="checkbox"/>	Acc Electrical		?	acc elec options				
<input checked="" type="checkbox"/>	Powertrain Control	conv	?	PTC_CONV	man			

front wheel drive
 rear wheel drive
 four wheel drive

Cargo Mass: 536
Calculated Mass: 1430

Fonte: Autor (MATLAB)

Figura 19 – Dados de entrada para a simulação do veículo híbrido paralelo P2

Load File		PARALLEL_defaults_in		Auto-Size		
Drivetrain Config		parallel		Scale Components		
		version	type	max pwr (kW)	peak eff	mass (kg)
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehicle		?			592
<input checked="" type="checkbox"/>	Fuel Converter	ic	?	57	0.34	173
<input checked="" type="checkbox"/>	Exhaust Aftertreat		?		#of mod V nom	11
<input checked="" type="checkbox"/>	Energy Storage	rint	?	25	308	275
<input type="checkbox"/>	Energy Storage 2		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Motor		?	53	0.9	60
<input type="checkbox"/>	Motor 2		?			
<input type="checkbox"/>	Starter		?			
<input type="checkbox"/>	Generator		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmission	auto	?		1	114
<input type="checkbox"/>	Transmission 2		?			
<input type="checkbox"/>	Clutch/Torq. Conv.		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Torque Coupling		?		1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Wheel/Axle	Crr	?			0
<input checked="" type="checkbox"/>	Accessory	Const	?			
<input type="checkbox"/>	Acc Electrical		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Powertrain Control	par	?			

front wheel drive
 rear wheel drive
 four wheel drive

Cargo Mass: 220
 Calculated. Mass: 1445

Fonte: Autor (ADVISOR)

Figura 20 - Dados de entrada para a simulação do veículo híbrido paralelo P1

Load File		PARALLEL_SA_defaults_in		Auto-Size		
Drivetrain Config		parallel_sa		Scale Components		
		version	type	max pwr (kW)	peak eff	mass (kg)
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehicle		?			592
<input checked="" type="checkbox"/>	Fuel Converter	ic	?	57	0.34	173
<input checked="" type="checkbox"/>	Exhaust Aftertreat		?		#of mod V nom	15
<input checked="" type="checkbox"/>	Energy Storage	rint	?	4.8	51	5
<input type="checkbox"/>	Energy Storage 2		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Motor		?	5	0.92	6
<input type="checkbox"/>	Motor 2		?			
<input type="checkbox"/>	Starter		?			
<input type="checkbox"/>	Generator		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmission	man	?		1	114
<input type="checkbox"/>	Transmission 2		?			
<input type="checkbox"/>	Clutch/Torq. Conv.		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Torque Coupling		?		1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Wheel/Axle	Crr	?			0
<input checked="" type="checkbox"/>	Accessory	Const	?			
<input type="checkbox"/>	Acc Electrical		?			
<input checked="" type="checkbox"/>	Powertrain Control	par	?			

front wheel drive
 rear wheel drive
 four wheel drive

Cargo Mass: 550
 Calculated. Mass: 1455

Fonte: Autor (ADVISOR)