

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA**

TAÍS CUNHA

Gargalos na implementação de veículos elétricos leves no setor automotivo brasileiro

Orientadora: Profa. Ana Lucia Gonçalves da Silva

**Campinas
2019**

Sumário

1. Introdução

1.1. Visão geral do complexo automobilístico no Brasil

1.2. História do veículo elétrico: vantagens e gargalos

1.3. Questionamentos aos veículos a combustão ao final do século XX e novos rumos

1.4. Objetivos e justificativas do presente trabalho

2. Análise de alternativas para os veículos de combustão interna

2.1 Alternativas menos populares para veículos elétricos e híbridos: GNV, solar e biodiesel

a) GNV

b) Solar

c) Biodiesel

2.2. Análise de três fontes energéticas potenciais: etanol, baterias e células a combustível

a) Visão geral

b) Baterias

c) Células a Combustível

2.3. Contra-argumento sobre o impacto ambiental de veículos elétricos

3. Alterações nas estruturas do setor automobilístico

3.1. Alterações de componentes dos veículos

3.2. Alterações nas estruturas corporativas

4. Aplicação da teoria neo-schumpeteriana na análise do cenário atual de desenvolvimento dos carros elétricos

4.1. Estratégia de desenvolvimento da América Latina

4.2. Desafios da Indústria 4.0

4.3. Análise da visão estratégica do Banco Mundial

5. Proposta de incentivos a empresas do setor automotivo considerando os principais gargalos e desafios na introdução de veículos elétricos no Brasil

5.1. Impacto Rota 2030

6. Conclusão

7. Referências Bibliográficas

Sumário de Tabelas, Quadros e Gráficos

Tabelas:

1. Tabela 1 - Perfil da indústria de autopeças no Brasil em 2013 (em %)

Quadros:

1. Quadro 1 - A cadeia de valor das baterias de veículos-elétricos em sete passos

Gráficos:

1. Gráfico 1 - A evolução da autonomia dos carros elétricos
2. Gráfico 2 - Consumo Energético (MJ/km) x Emissão Total GEE (gCO₂e/km)
3. Gráfico 3 - Vendas de veículos do setor automotivo
4. Gráfico 4 - Participação do mercado global de baterias lítio-íon – 1º semestre de 2018
5. Gráfico 5 – Emissão total de CO₂ por modelo de veículo em gramas por km
6. Gráfico 6: Mix da matriz energética Alemã em 2018
7. Gráfico 7 – Participação de mercado de veículos plug-in elétricos leves vendidos por país em 2018
8. Gráfico 8 – Distribuição de vagas de emprego por setor em nível mundial

Resumo

A necessidade de fontes de energia alternativas à combustão interna, diante de um cenário de níveis extremos de poluição de ar mundial, abre espaço não somente para o desenvolvimento de veículos elétricos, mas também para o desenvolvimento de outras fontes alternativas de energia, como o biodiesel e a GNV – havendo espaço para uma integração entre as alternativas de fontes de energia, como, por exemplo, veículos híbridos que utilizam etanol tanto como combustível para motores tradicionais flex, como para as células a combustível em si. Com base principalmente nas análises de ciclos de inovação de Carlota Perez (2017) e dos conceitos de estratégia de desenvolvimento de Medeiros (2012) e na proposta de desenvolvimento do Banco Mundial, este trabalho busca analisar as capacitações brasileiras nas áreas de etanol em relação a tecnologias para veículos elétricos, como as células a combustível e as baterias de lítio-íon. Tendo em vista que o etanol já é destino de incentivos de pesquisa e desenvolvimento no país, o presente projeto de monografia propõe-se a tratar sobre as possibilidades do Brasil nos próximos anos em relação ao tipo de veículo a ser incentivado, mais especificamente carros híbridos utilizando etanol. A hipótese inicial é que, para a viabilidade do projeto, é necessária uma integração entre os setores público e privado, dada a importância de incentivos fiscais via governo, bem como investimentos em pesquisa e desenvolvimento, tanto no setor público como privado. Ademais, do ponto de vista do setor privado, é importante que o projeto nacional seja condizente com as tendências mundiais, de forma que a estratégia corporativa das matrizes esteja alinhada com a estratégia das filiais no país, para que os impactos na cadeia produtiva, com essa mudança de paradigma, sejam realizados de forma ordenada com a estratégia das unidades de negócio, visando uma transação bem-sucedida dos modelos de negócio.

Palavras-chave: setor automotivo brasileiro; cadeia produtiva automotiva; veículos elétricos; estratégia; desenvolvimento.

1. Introdução

1.1. Visão geral do complexo automobilístico no Brasil

O complexo automobilístico movimentou só no Brasil cerca de US\$ 59,2 bilhões em 2017, o que corresponde a 22% da indústria de transformação e 4% do PIB. A produção acumulada dos últimos 60 anos (1957 a 2017) chega a 78,5 milhões unidades, tornando-se a sexta maior frota de autoveículos do mundo. Este mercado é responsável por empregar, de forma direta ou indireta, 1,3 milhão de pessoas. A indústria automobilística brasileira produziu no ano de 2017, 2.270.834 automóveis, atingindo uma frota total de 38.189.608 automóveis. Destes veículos leves produzidos, 316.009 veículos são a gasolina, 1.923.143 são flex, 31.682 a diesel e 3.296 híbridos e elétricos. O faturamento líquido do setor de autoveículos em 2017 atingiu cerca de US\$ 52,2 bilhões (ANFAVEA, 2018).

Deve-se, ainda, levar em consideração o setor de autopeças, o qual representa uma cadeia produtiva fundamental para o complexo automotivo, sendo responsável por parte significativa do desenvolvimento tecnológico. O faturamento nominal do setor de autopeças em 2017 foi de R\$ 86,6 bilhões, representando um aumento de 24.1% frente ao ano de 2016, após três anos consecutivos de queda no faturamento nominal frente ao ano anterior. As montadoras são o segmento responsável por mais da metade do faturamento nominal de autopeças, alcançando participação de 62.4% em 2017. Já em relação aos investimentos, o valor total foi de R\$ 1.85 bilhões, aumento de 17.8% frente ao ano anterior, o qual também estava em queda nos últimos três anos. Apesar das montadoras serem responsáveis por mais da metade do faturamento nominal deste complexo, o mercado de autopeças também é de extrema relevância para o desenvolvimento econômico do país, empregando cerca de 164,6 milhões de pessoas (SINDIPEÇAS, 2018).

A composição do faturamento e do investimento no setor de autopeças tem grande reflexo das políticas econômicas ao longo da história do Brasil. Em 1994 o faturamento do capital nacional representava 52,4%, enquanto o capital estrangeiro era responsável por 47,6%. Em 2007, após a abertura comercial brasileira e privatizações de diversos setores estratégicos, foi possível observar uma grande inversão na participação do capital nacional no faturamento da indústria de autopeças, sendo responsável apenas por 14,7%. Em 2017, 10 anos após, como consequência das políticas expansionistas via crédito, especialmente com incentivos do Estado ao capital nacional, houve uma pequena melhora da participação do capital nacional, atingindo 28,9% do faturamento do setor. O investimento percorreu a mesma

lógica, com o capital nacional passando de uma participação de 52% em 1994, para 19.9% em 2007 e 34.6% em 2017 (SINDIPEÇAS, 2018).

Conceitualmente, o mercado de autopeças é dividido em três níveis: tier 1, os chamados sistemistas, responsáveis por fornecer o sistema completo direto às montadoras; tier 2, que são os fabricantes de conjuntos, geralmente os fornecedores do tier 1; e o tier 3, responsáveis por fabricar componentes e/ou peças distintas de seus produtos, no geral, aos outros dois tiers. A cadeia do setor de autopeças pode ser bastante longa. Via de regra, o consumidor final pode reparar seu veículo em concessionárias ou em oficinas mecânicas. Por sua vez, as oficinas mecânicas, responsáveis pela maior parte da reparação automotiva, adquirem peças em concessionárias e por meio de distribuidores e varejistas. Outra possibilidade é o cliente levar a peça até a oficina para realizar o reparo – opção que se torna cada vez mais comum a partir da expansão dos *marketplaces* e do *ecommerce*.

O perfil da indústria é bastante heterogêneo. Com base em um levantamento da indústria realizado pela Sindipeças em conjunto com a Abipeças com suas associadas em 2013, 27,5% das empresas faturaram mais de R\$ 150 milhões por ano e concentraram 84,4% das vendas do setor. Na outra ponta, 48% das empresas obtiveram faturamento de até R\$ 50 milhões por ano, representando apenas 5% das vendas. Cerca de 250 empresas faturam mais de R\$ 50 milhões por ano e aproximadamente 130 empresas faturam mais de R\$ 150 milhões por ano (Sindipeças e Abipeças, 2015).

Apesar de a indústria ser heterogênea, pode-se notar na Tabela 1 uma concentração em cinco segmentos de 67% de todo o faturamento gerado na fabricação de automóveis leves. Destes, dois destacam-se: o de motores e o de elétrica e eletrônica. O segmento de motores concentra a maior participação de mercado, com 18.2% (BNDES Setorial 42, p. 167-216). A demanda por soluções com maior eficiência energética e menor índice de emissões e a tendência pela eletrificação veicular são as principais razões para as perspectivas de crescimento. O alto crescimento pode, ainda, atrair novos entrantes, principalmente no que tange ao desenvolvimento de novas tecnologias voltadas à eletrificação veicular. A eletrificação, a segurança ativa e a conectividade veicular são os principais responsáveis pela perspectiva de crescimento no segmento de elétrica e eletrônica. A mudança do paradigma mecânico para o elétrico implica uma demanda crescente por baterias e sistemas acessórios - como *softwares* para gestão de energia veicular. Além disso, a automação dos veículos e a crescente eletrônica embarcada favorecem as perspectivas para esse segmento (Sindipeças e Abipeças, 2015).

Tabela 1 - Perfil da indústria de autopeças no Brasil em 2013 (em %)

Segmento	Descrição	Mercado* 2014 (US\$ bilhões)	Share do mercado total (%)	Concentração atual	Perspectiva de crescimento
Motor	Motores e seus componentes (pistões, rolamentos, válvulas, correias, bombas de óleo etc.)	214,4	18,2	Baixa	↑
Chassi e carroceria	Parte estrutural e pele externa, incluindo retrovisores, fechaduras e outros incorporados à carroceria	199,3	17,0	Baixa	↓
Eletrônica e elétrica	Baterias, iluminação, motores elétricos, acessórios do painel de instrumentos, cabos e demais componentes elétricos	153,2	13,0	Baixa	↑
Transmissão	Transmissões, engrenagens e embreagens	112,0	9,5	Baixa	↑
Interior	Assentos, painel de instrumentos, pedais, forros e acabamentos internos	107,8	9,2	Média	↓
Eixos	Partes que transferem a energia do conjunto motor-transmissão para as rodas. Inclui eixos dianteiros, traseiros, <i>cardan</i> e seus componentes	69,2	5,9	Baixa	↓
Climatização e arrefecimento	Compressores, condensadores, ventiladores, radiadores, tubos etc.	60,0	5,1	Média	↓
Suspensão	Amortecedores, molas, batentes, coxins, juntas homocinéticas etc.	40,3	3,4	Média	→
Freios	Peças mecânicas (pinças, pastilhas, tambores etc.) e componentes elétricos (atuadores e sensores)	36,5	3,1	Média	↓
Direção	Volantes, colunas, engrenagens e juntas	31,9	2,7	Média	↓
Sistema de combustível	Partes da tampa do tanque até a injeção de combustível	30,2	2,6	Média	→
Segurança	<i>Airbags</i> , cintos de segurança, eletrônica para segurança e outros componentes	29,4	2,5	Média	↓
Áudio e comunicação	Rádios, antenas, autofalantes, CD e DVD, TVs, sistemas de navegação	28,1	2,4	Média	→
Rodas e pneus	Inclui calotas e outras partes relacionadas	25,6	2,2	Alta	↓

Fonte: BNDES Setorial 42, p. 167-216

Com a crise de 2009, surgiram pressões como o aumento dos preços de insumos, aumento da concorrência e queda da produção veicular. O resultado foi, somente nos Estados Unidos da América (EUA), em 2009, mais de 50 empresas entrando em recuperação judicial e o encerramento das atividades de cerca de 200 empresas (ITA, 2011). O aumento de preço de insumos gerou forte pressão na estrutura de custos das empresas. Dado o alto poder de barganha das montadoras, pela sua alta participação no mercado de autopeças, este setor foi obrigado a absorver tais custos, levando, assim, a uma maior concentração mundial no setor.

1.2.História do veículo elétrico: vantagens e gargalos

Foi no ano de 1837, na Inglaterra, que foi construída a primeira carruagem elétrica, quase 40 anos antes do primeiro veículo à combustão interna por Benz, em 1886 (Barreto, 1986). Para Hoyer (2008), a história do veículo elétrico está intimamente conectada à história da bateria. Em 1859 houve a primeira demonstração de uma bateria de chumbo e ácido pelo belga Gaston Planté, que chegou a ser utilizada por veículos elétricos desenvolvidos a partir de 1880 na França, EUA e Reino Unido. Por outro lado, em 1885, Benz demonstra o primeiro motor a combustão e seis anos depois, em 1901, Thomas Edison, interessado nos veículos elétricos, desenvolve a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior do que a bateria de Planté. O veículo híbrido também nasce nessa época. Segundo Hoyer (2008), em 1903 já havia modelos no mercado com um gerador elétrico, alimentado por um pequeno motor de combustão interna e dois pequenos motores elétricos, que forneciam tração às rodas dianteiras; ou o modelo em que o motor de combustão interna era utilizado para fornecer tanto tração às rodas quanto para carregar uma bateria, enquanto o motor elétrico fornecia potência extra ao motor de combustão ou funcionava sozinho em trânsito lento.

Os veículos elétricos foram bem aceitos no final do século XIX pelo fato de serem veículos silenciosos, sem emissão de poluentes e de fácil condução. Em contrapartida, os veículos a combustão interna eram barulhentos, soltava muita fumaça e com necessidade de grande esforço manual para conduzi-los. Contudo, com a introdução do motor de arranque elétrico por Charles Kettering somado à descoberta de novos poços de petróleo, como o de Texas em 1920 – levando em consideração que os EUA já eram o maior mercado de automóveis à época –, os veículos a combustão interna passaram a ser mais bem aceitos. Isso porque, além dos fatores mencionados, avançavam, naquele momento, altos volumes de investimento em infraestrutura de transportes, interligando as distintas e distantes regiões

norte-americanas, o que impedia que a curta vida das baterias de carros elétricos tomasse espaço no mercado (BNDES Setorial, p. 207-224, 2010).

A partir da década de 1970, porém, os veículos elétricos voltam em cena, a partir do debate sobre a finitude e as limitações econômicas dos combustíveis fósseis, especialmente após a crise do petróleo em 1973. Contudo, as limitações relacionadas às baterias postergaram o debate até 1980, puxado dessa vez, pela poluição das grandes cidades, somadas à ideia em alta de desenvolvimento sustentável, concentrando o debate no desenvolvimento de novas tecnologias e de fontes alternativas de energia.

A resposta a esses debates foi a tomada de medidas que visam incentivar o uso de veículos alternativos aos de combustão interna, como feito pelo estado da Califórnia, nos EUA, no início de 1990. O governo estadual oferecia bônus de até US\$ 5 mil por veículo elétrico vendido (Sovacool e Hirsh, 2008). Os estados de Massachusetts e New York adotaram medidas parecidas, o que estimulou montadoras como a Honda e a General Motors (GM) a iniciar o desenvolvimento desses veículos. Apesar desses esforços, as barreiras ainda eram altas e de diferentes aspectos. A resistência do setor era clara a partir da American Automobile Manufacturers Association (AAMA) que alegava que os veículos elétricos, além de inviáveis economicamente, ao utilizar chumbo, presente nas baterias, não traria benefícios ambientais em substituição da gasolina. Além disso, o setor que seria prejudicado com o desenvolvimento desses veículos, as grandes companhias de petróleo, como Exxon, Shell e Texaco, contribuiu financeiramente para campanhas políticas contrárias aos veículos elétricos. Assim, os projetos legislativos de estímulo para a produção de veículos elétricos foram postergados.

1.3. Questionamentos aos veículos a combustão ao final do século XX e novos rumos

O desenvolvimento no setor automotivo no último século foi em relação aos veículos de combustão interna. Contudo, preocupações ambientais intensificaram-se no início do século XXI. A partir dos choques do petróleo na década de 1970, as preocupações com uma nova matriz energética vieram à tona, dando início a diversos incentivos ao redor do globo para fontes energéticas inovadoras e independente dos combustíveis fósseis. Tendo em vista que o setor automotivo é responsável por 17% dos gases responsáveis pelo efeito estufa, de acordo com a Secretaria UN Climate Change, da ONU, essa tendência, casada com os altos níveis de monóxido e dióxido de carbono em cidades como Hong Kong, na China, e New Orleans, nos EUA, para citar duas das dez cidades responsáveis pela maior parte das emissões

dos gases de efeito estufa, trouxe de volta o debate de veículos elétricos (<http://mdgs.un.org/unsd/mdg>. UN, 2010).

Os principais estimulantes da retomada do debate acerca da alternativa do carro elétrico são as preocupações ambientais, a volatilidade do mercado de petróleo e o desenvolvimento das baterias automotivas - que ocupa grande parte dos debates, uma vez que a indústria ainda encontra bastante dificuldade no quesito do tempo de autonomia desse produto para percorrer distâncias mais longas – preocupação que se manteve desde os primórdios dos veículos elétricos na primeira metade do século XX.

A discussão do desenvolvimento tecnológico é central, uma vez que a partir da década de 1990, com a revolução dos setores da informática e telecomunicações, a necessidade de avanços em relação ao peso dos eletrônicos e da durabilidade das baterias (aumento da energia armazenada), por exemplo, de *smartphones* e *laptops*, induziram diversos esforços de pesquisa nesse sentido. Esses estímulos a partir da década de 1990 foram fundamentais para que a volta do debate sobre veículos elétricos fosse possível (BNDES Setorial, p.207-224, 2010).

1.4.Objetivos e justificativas do presente trabalho

O presente trabalho terá como foco, assim, entender quais são os principais gargalos no setor automobilístico em relação à tendência de ascensão dos veículos elétricos, as tecnologias mais promissoras para esse “novo” mercado – analisando suas vantagens e desvantagens no cenário atual – e quais as medidas necessárias para que empresas e governos de países em desenvolvimento possam se inserir na chamada quarta revolução industrial, na qual os veículos elétricos se inserem.

Para realizar essa análise, basear-nos-emos na classificação de tecnologias para consumo energético definida na pesquisa da BCG Pactual de 2009, sobre o consumo energético, reservas de combustíveis fósseis e opções tecnológicas, a partir de pesquisas de mercado com montadoras, sistemistas, fabricantes de baterias e de energia. Os autores da pesquisa classificam as diversas tecnologias já desenvolvidas para a redução de emissão de CO₂ em três categorias: (i) combustíveis alternativos; (ii) tecnologias avançadas de motores a combustão interna (ICE); e (iii) eletrificação. Vale ressaltar que essas três categorias não são excludentes, podendo ocorrer a sobreposição de umas às outras, como é o caso dos veículos híbridos. A primeira categoria inclui combustíveis como o gás natural (GNV), a segunda inclui a geração de biocombustíveis – como é o caso do etanol – e a última abrange as baterias e as células de combustível a hidrogênio (BCG Pactual, 2009).

A relevância do tema proposto pode ser avaliada a partir de dados de uma pesquisa da FGV, que mostra que as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) mundiais pela indústria automotiva no ano de 2013, foram de quase 11%. Com isso, estima-se que a descarbonização do setor de transporte deve ser da ordem de 18% até 2050, de acordo com o Tratado de Paris. A expectativa do fórum político multigovernamental EVI (Electric Vehicles Initiative) é que, até 2030, o número de veículos elétricos ao redor do mundo deve atingir 140 milhões de unidades, isto é, 10% da frota total de veículos leves (FGV, Accenture, 2013). Em linha com as metas de descarbonização internacional traçadas pelo acordo de Paris, diversos governos de países desenvolvidos adotaram políticas de incentivo a essas novas tecnologias visando o aumento de veículos elétricos e, conseqüentemente, uma diminuição nas emissões dos gases causadores do efeito estufa. As cidades da China, dos Estados Unidos e da União Européia deverão ser os carros-chefe dessa mudança, sendo as detentoras de 27%, 15% e 10% dos gases responsáveis pelo efeito estufa mundialmente, respectivamente. Esses dados são resultado da pesquisa da Universidade de East Anglia (EUA) e do Global Carbon Project.

Já no Brasil, a política de incentivo à redução de gases do efeito estufa chama-se Rota 2030. O novo programa, proposto para entrar em vigor a partir de 2019, é um programa que define um conjunto de regras para a fabricação e comercialização de automóveis nos próximos 15 anos. Esse conjunto de normas inclui o quanto as fábricas instaladas devem investir, as metas de eficiência energética, itens de segurança obrigatórios, entre outros compromissos. O projeto é de extrema importância para a introdução de veículos híbridos e elétricos, uma vez que impõe alíquotas diferenciadas – no caso o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) – para o estímulo desses veículos, que variarão de 7% a 20%, de acordo com a eficiência energética e com o peso do veículo. A redução da alíquota funcionará da seguinte forma: de início, todos terão 1% de redução, podendo ser adicionado 1% extra, via redução extra no consumo (como era no Inovar-Auto, primeiro projeto do governo brasileiro de eficiência energética) ou por segurança veicular. Sistemas de proteção a pedestres, como frenagem autônoma, poderão ser considerados. Outra obrigatoriedade será de aumentar em 11% a eficiência energética dos veículos até 2022, além de incorporar “tecnologias assistivas à direção” nos próximos nove anos (Quatro Rodas, 06/07/2018).

As políticas de incentivo por meio dos governos nacionais são essenciais para o desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente quando se leva em consideração a inovação dos carros elétricos – inovação que pode ser considerada como disruptiva (Christensen, 1997), uma vez que são criados novos mercados e redes de valor eventualmente substituindo tecnologias existentes – neste caso, os veículos de combustão interna –, gerando

incertezas quanto a questões econômicas, desde a cadeia produtiva em si, ao alterar os componentes dos veículos, até o mercado de trabalho, uma vez que necessita de novas competências, desde o mecânico até a parte de engenharia de novos produtos.

Vale destacar que inovações disruptivas podem afetar modelos de negócios bem-sucedidos que estão comprometidos com trajetórias tecnológicas prévias. De fato, já se pode observar mudanças nas estruturas das empresas como, por exemplo, a separação de negócios ocorrida em 2017 na empresa Delphi (uma das maiores sistemistas do setor): a cisão da empresa entre a divisão de *powertrain* e a divisão de eletrônica automotiva (Automotive Business, 2017). Esse tipo de ação empresarial mostra um claro foco em um novo mercado que emerge e se passa em um momento em que as empresas devem tomar decisões essenciais para o sucesso – ou não – de suas estratégias corporativas, uma vez que os custos de oportunidade de seus investimentos ditarão o posicionamento dessas empresas no mercado no médio e no longo prazo.

Neste sentido, o presente trabalho procura analisar os fatores que essas empresas devem levar em consideração nessas escolhas com base nas tecnologias mais proeminentes no mercado automobilístico hoje, como a escolha da tecnologia a ser utilizada nos veículos elétricos – como a bateria de *lithium-ion* e as células a combustível e suas opções de matéria-prima – e seus impactos ambientais e o custo dessas tecnologias para o consumidor final (decisivo na sua escolha na hora de adquirir um veículo) como o custo para a cadeia produtiva.

2. Análise de alternativas para os veículos de combustão interna

Em linha com o objetivo deste trabalho de analisar as diferentes tecnologias que emergem como tendências no mercado automobilístico hoje, buscar-se-á analisar três distintas opções de tecnologias como fonte de energia para veículos elétricos e híbridos: as células a combustível e suas variadas matérias-primas como fonte – como o metano, hidrogênio e o etanol –, as baterias de lithium-ion e o etanol (em motores a combustão em veículos híbridos). Apesar de citadas, as opções de GNV, solar e biodiesel não serão focos dessa análise pelos motivos apresentados a seguir.

2.1 Alternativas menos populares para veículos elétricos e híbridos: GNV, solar e biodiesel

a) GNV

Uma aparente ameaça às baterias são os veículos movidos a Gás Natural Veicular (GNV), um combustível gasoso que, assim como a gasolina e o álcool, funcionam por meio de ignição por centelhamento em seu motor e são utilizados na forma de “biocombustível”, utilizando preferencialmente o GNV, mas podendo ser usado também gasolina ou etanol. De acordo com o Ambiente Brasil – grupo de consultoria formado por empresas corporativas e ONGs –, o GNV apresenta uma eficiência térmica superior se comparada a motores movidos à gasolina e ao etanol, devido ao poder antidetonante ao gás. Contudo, o estudo revela que este potencial de eficiência é reduzido na forma “biocombustível” adotada hoje nos veículos movidos à GNV, dadas as taxas de compressão originais de seus motores para gasolina e etanol. Mesmo em seu modelo atual, o GNV é um combustível atrativo por seu baixo custo. Um estudo realizado em 2004 pela revista Quatro Rodas, utilizando testes em três diferentes veículos – Corsa flex, Gol flex e Fiesta flex –, comparou a eficiência de seus motores com os três diferentes combustíveis mencionados: a gasolina, o etanol e a GNV. O resultado do estudo foi uma superioridade de eficiência do GNV em relação ao etanol e à gasolina, variando entre 47% e 64% e entre 71% e 69%, respectivamente.

Contudo, há dois limitantes principais nessa tecnologia: por um lado, não temos veículos que saiam de fábrica hoje com GNV, havendo a necessidade de fazer uma instalação posterior à aquisição do veículo, a qual significa um custo adicional ao valor já pago pelo

veículo. Além deste custo adicional, que poderia ser compensado pelo baixo custo do gás no mercado, há o segundo limitante: a maior parte da oferta de gás no território brasileiro é controlado pela YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscais Bolivianos), estando, assim, expostos a eventuais alterações de preços da companhia. Além disso, o próprio Estado brasileiro já sinalizou preferência desse combustível para aplicações industriais e de térmicas.

As vantagens em termos de eficiência do GNV são observadas também em outras regiões, como é o caso da Espanha, onde a distribuidora de eletricidade Naturgy Energy Group atingiu um crescimento de dois dígitos em 2018, com o abastecimento de veículos comerciais à GNV, de acordo com o CEO da empresa espanhola, Francisco Reynes. Contudo, a empresa explora essa vantagem muito mais para veículos comerciais do que a passeio – subsector foco deste trabalho –, uma vez que as frotas são muito voltadas a custos com combustível, dadas as altas quilometragens rodadas. Além disso, o gás, que é armazenado a uma pressão de 200 bars em um tanque cilindro, resultando em autonomia por cerca de 1.000 quilômetros, segundo a Naturgy, possibilita que as frotas comerciais percorram longas distâncias. Mais uma vez, contudo, observa-se que a tecnologia atrai, principalmente, veículos comerciais e frotistas, não sendo, assim, uma tecnologia tão atraente para o mercado foco deste trabalho: os veículos a passeio.

b) Solar

Com o GNV colocando-se como solução ideal para veículos comerciais, podem ser observadas no mercado outras alternativas tecnológicas para os combustíveis fósseis. Neste caminho, estudantes do Instituto de Tecnologia de Manipal (MIT), na Índia, criaram um protótipo, em parceria com a Universidade de Manipal e a empresa Tata Power Solar, chamado SERVe – Veículo Rodoviário Elétrico-Solar (em tradução livre). O veículo, que tem seu teto coberto de painéis solares, fornecidos pela maior empresa de energia solar da Índia, e sua carroceria feita de plástico reforçado com fibra de vidro aplicado sobre uma estrutura de aço, somando um total de apenas 600 quilogramas. O veículo, que também é equipado por baterias de *lithium-ion*, não visa, contudo, ser o mais leve ou de maior autonomia, mas sim lançar a energia solar como uma alternativa viável que, além de eficiente, tem um custo acessível. Contudo, a tecnologia está em sua fase inicial e ainda tem muito o que percorrer em termos de amadurecimento, uma vez que, para viabilizar esta tecnologia, será preciso garantir uma infraestrutura adequada.

c) Biodiesel

Uma alternativa bastante discutida hoje, principalmente no Brasil e nos EUA, é o biodiesel – o que nada mais é do que a extração de energia de óleos vegetais, após a extração da glicerina. Apresenta importantes vantagens, como menor emissão de gases causadores do efeito estufa e ampla disponibilidade, uma vez que pode ser extraída a partir de vegetais como a mamona, em abundância em nosso território e de fácil reprodução, e também pode ser reutilizada a partir de óleos vegetais utilizados na cozinha. Contudo, apesar dessas vantagens, essa alternativa não será objeto de foco neste trabalho, dado que esta alternativa é utilizada em motores de carro a diesel, variedade não disponível no território brasileiro hoje para veículos a passeio. Isso porque a comercialização de veículos a passeio com motor a diesel foi proibida no Brasil pela portaria nº. 346 de 19 de novembro de 1976, do antigo Ministério da Indústria e do Comércio (MIC). A época da medida não é aleatória. Após duas crises do petróleo e um cenário internacional instável, as importações de petróleo no Brasil, as quais atingiram 78% do consumo à época, tiveram graves impactos na Balança Comercial brasileira. Isso, somado a uma tecnologia a diesel com ruídos e de baixa eficiência e à alta demanda deste combustível para transporte de carga, geradores, máquinas de construção e agrícolas, resultou na limitação desta tecnologia para carros a passeio. De acordo com Rubens Avanzani, coordenador da Comissão Técnica de Motores a Diesel, da Sociedade de Engenharia da Mobilidade - SAE Brasil: “A crise do petróleo elevou o custo do desenvolvimento do País e decidiu-se subsidiar ao preço do diesel e limitar sua utilização apenas aos meios produtivos”. Apesar deste subsídio não existir mais, as motivações para não termos motores a diesel hoje são diferentes. Diante de todos os movimentos, principalmente em países da União Europeia de diminuição ou extinção de veículos a diesel rodando nos centros de suas cidades.

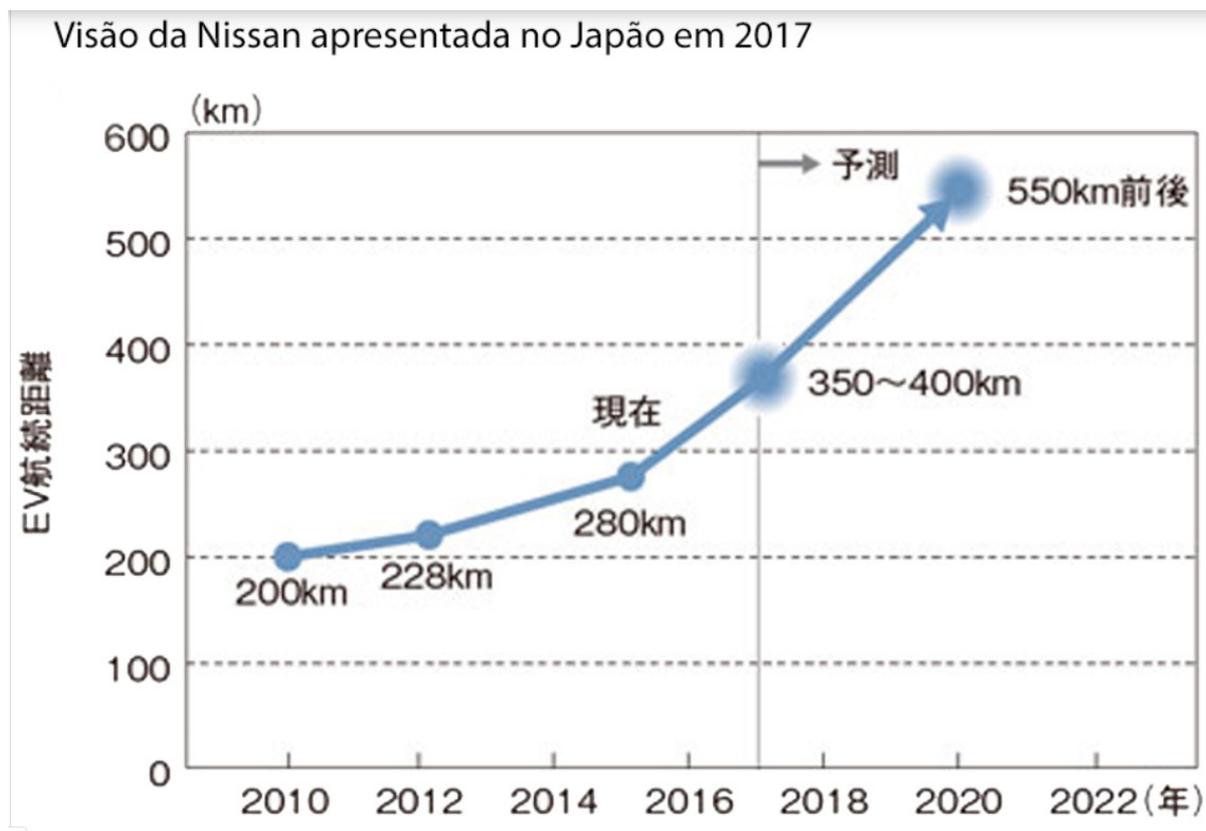
2.2. Análise de três fontes energéticas potenciais: etanol, baterias e células a combustível

a) Visão Geral

Em linha com o debate que ocorre no atual cenário econômico, na 18ª Conferência Datagro realizada em outubro de 2018, Rubens Ometto, presidente da Cosan, grupo privado de negócios nas áreas de energia, logística, infraestrutura e gestão de propriedades agrícolas, apresentou uma reflexão para o setor automobilístico: “[O motor elétrico] pode ser eficiente, mas não é necessariamente limpo do ponto de vista ambiental. Se a energia não for de fonte limpa e renovável, não contribui para diminuir o aquecimento global”. Aproximadamente 85% da matriz energética brasileira são de fontes renováveis – e com expectativa de aumento dessa participação em 10 anos para 87% (EPE / PDE 2026 / Novacana.com, 2016). Desta forma, o posicionamento do presidente de uma das maiores empresas no Brasil pode ser considerado um equívoco, uma vez que nossa matriz energética já é majoritariamente limpa. O que entra em questão aqui, contudo, é o impacto que um produto como a bateria causaria tanto na questão de meio ambiente – a questão levantada do chumbo como produto da produção da bateria – em relação a uma fonte energética já considerada limpa, como a que temos no Brasil. Ainda sim, Ometto fomenta sua argumentação em relação à capacidade de armazenagem das baterias automotivas. Para ele “(...) a bateria tem, para piorar, baixa densidade energética. É preciso muita bateria para substituir a energia de um tanque de combustível líquido, o que limita o alcance do veículo e a sua capacidade de carga”.

A afirmação é baseada, contudo, na comparação entre a quantidade de energia de um tanque com combustível líquido com a quantidade de energia da bateria de um carro. Apesar de menor densidade energética, o que o consumidor final analisa é a distância percorrida em quilômetros (km) por real gasto. Com base nesse aspecto, as baterias podem ser superiores em termos de eficiência energética. A comparação feita pelo site Novacana.com, baseia-se na eficiência de um Nissan Leaf versão 2018, o qual pode percorrer a distância será 350 km a 400 km – valor superior aos anos superiores, de acordo com a Nissan Japão. Os dados apresentados em 2017 mostram uma tendência ascendente da densidade energética das baterias que, de acordo com a montadora, devem dobrar dentro de 10 a 13 anos, chegando à capacidade de 550 km por carga de bateria.

Gráfico 1 - A evolução da autonomia dos carros elétricos



Fonte: Novacana.com.br

Com base na simulação elaborada pela Novacana.com, com base em dados coletados pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), que se baseou numa amostra coletada na cidade de São Paulo em janeiro de 2018, o custo por megajoule entre gasolina, etanol e eletricidade é similar – variando entre 0.1373 reais/MJ e 0.1408 reais/MJ – de forma que o diferencial entre as três fontes energéticas analisadas seria o custo por quilometragem rodada, isso é, o combustível capaz de transformar a energia em força motriz com menos perda no processo. Assim, com base nos dados da AEA, a energia necessária para o carro percorrer 1 quilômetro é equivalente a 0,86 MJ/km, enquanto o motor a combustão (etanol ou gasolina) equivale a 1,68 MJ/km.

Em suma, um motorista na cidade de São Paulo, considerando os preços de janeiro de 2018 dessas três fontes energéticas e a densidade energética, com base nos dados da AEA, para rodar a mesma distância, gastaria, aproximadamente, o dobro com etanol num carro a combustão do que com a carga da bateria num veículo elétrico. Além dessa economia de 50% nos gastos com o veículo, nesta simulação, caberia considerar que os gastos estariam migrando de setor – o dinheiro deixaria de ir para os bolsos dos donos de postos de gasolina e,

consequentemente para o setor de petróleo e etanol, para ir para o setor de geração e distribuição de energia elétrica.

Apesar das vantagens da energia elétrica como fonte energética, em relação ao etanol e à gasolina, é necessário ainda avaliar os outros custos envolvidos na decisão de aquisição de um veículo – o valor do veículo em si e os custos de manutenção.

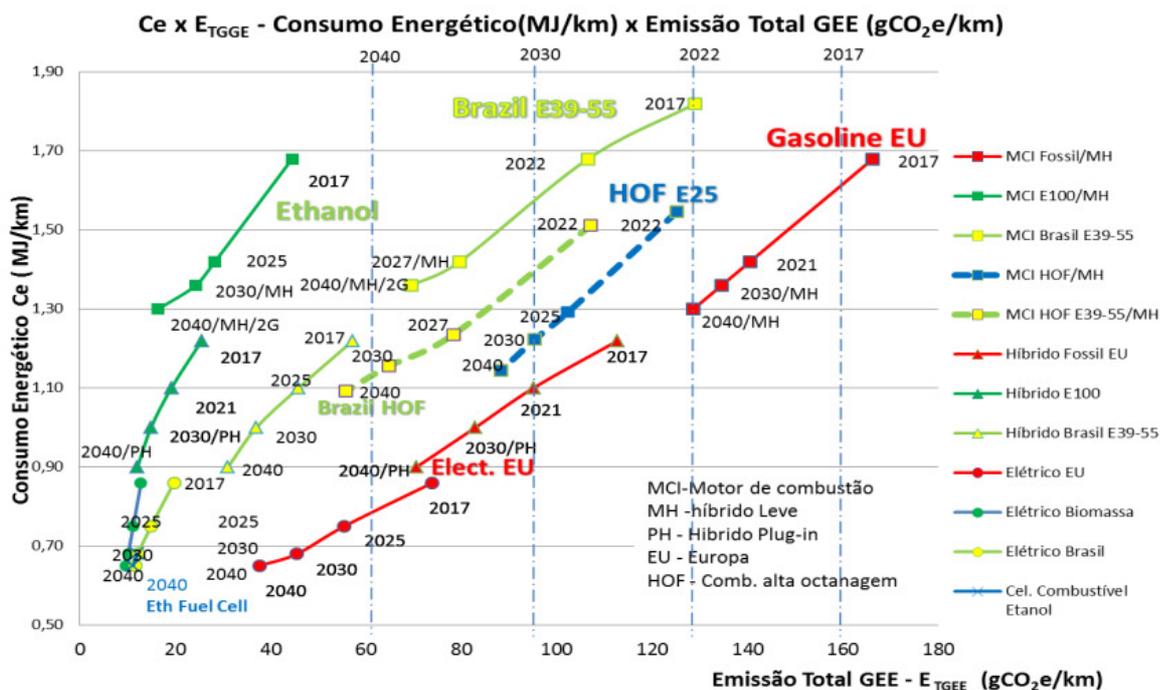
Além da comparação dos custos dos veículos híbridos ou elétricos *vis-à-vis* os veículos de combustão interna, é preciso considerar os motivos que levaram majoritariamente a essa retomada em cena dos veículos elétricos – a menor emissão de poluentes. Há uma forte discussão, principalmente no continente europeu, em relação à sustentabilidade dessas diferentes fontes energéticas. Contudo, quando trazemos a discussão para o continente latino-americano, principalmente para o Brasil, o debate difere. Isso porque, a discussão gira em torno majoritariamente do quão limpa é a energia elétrica como fonte energética.

Para analisar concomitantemente a eficiência energética do combustível e sua sustentabilidade, a AEA propõe um critério adicional: a Emissão Total de Gases de Efeito Estufa (ETGEE). Este fator expressa em gramas de CO₂ equivalente à toda produção de GEE do poço à roda, isso é, a quantidade de GEE emitida na produção, transporte e utilização por combustível, para percorrer uma distância determinada (gCO₂e/km) e é obtido multiplicando-se o consumo energético, C_e , pela intensidade de carbono, IC , do combustível, que é a quantidade total de GEE emitidas na produção, distribuição e utilização do mesmo.

Com base nesta análise de consumo energético *versus* emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) poço à roda, por quilômetro, elaborado pela AEA, uma das conclusões seria de que o veículo elétrico é ambientalmente pior que o carro a etanol. Porém, essa afirmação só é verdadeira na comparação entre o carro a etanol utilizado no Brasil com o elétrico usado na Europa. Para a AEA, o mesmo não pode ser dito em relação ao Brasil, uma vez que nossa fonte de eletricidade é majoritariamente usinas hidrelétricas, contra as usinas nucleares europeias. Isso se dá porque as fontes de energia elétrica no Brasil são consideradas entre as mais limpas mundialmente, dado que, como apontado anteriormente, tem 85% da sua matriz energética com emissões limpas, como é o caso das usinas hidrelétricas. As usinas hidrelétricas são hoje, de acordo com a Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e de Centrais Geradoras Hidráulicas (CGHs) – mais conhecida como ABRAPCH –, 63% da matriz energética no Brasil, assim como a mais barata, com um custo médio direto por fonte, isso é, pago efetivamente pelo consumidor, de R\$212 por MWh, no caso das pequenas centrais hidrelétricas. Para termos uma ideia comparativa de outras fontes,

a mais próxima em valor é o carvão custando R\$256 por MWh (+20%) e a eólica, por R\$327 por MWh (+54%).

Gráfico 2 - Consumo Energético (MJ/km) x Emissão Total GEE (gCO₂e/km)



Fonte: União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA)

Vale ressaltar, contudo, com base, principalmente, nas duas tragédias ocorridas em território brasileiro nos últimos quatro anos, que mesmo sendo considerada uma fonte energética limpa, as usinas hidrelétricas podem causar verdadeiros desastres naturais. Além do risco de desastres naturais que as hidrelétricas brasileiras tem demonstrado, ainda temos que considerar as consequências do próprio efeito estufa nesta fonte de energia. De acordo com a revista científica americana *Environmental Research Letters*, divulgada em dezembro de 2015, que baseou sua análise nas hidrelétricas de Cachoeira do Caí (PA), Cachoeira dos Patos (PA), Sinop (MT), Bem Querer (RR), Colíder (MT) e Marabá (PA), há uma alta probabilidade de que estas usinas geram emissões comparáveis às de usinas de gás natural, fonte normalmente mais poluente que a hidráulica, mas menos poluente que os demais combustíveis fósseis – e em alguns casos, como os de Sinop e Cachoeira do Caí, as emissões poderiam até superar as de usinas de carvão, o mais poluente dos combustíveis fósseis. Isso por conta da matéria orgânica presente no solo ou na vegetação durante a formação de

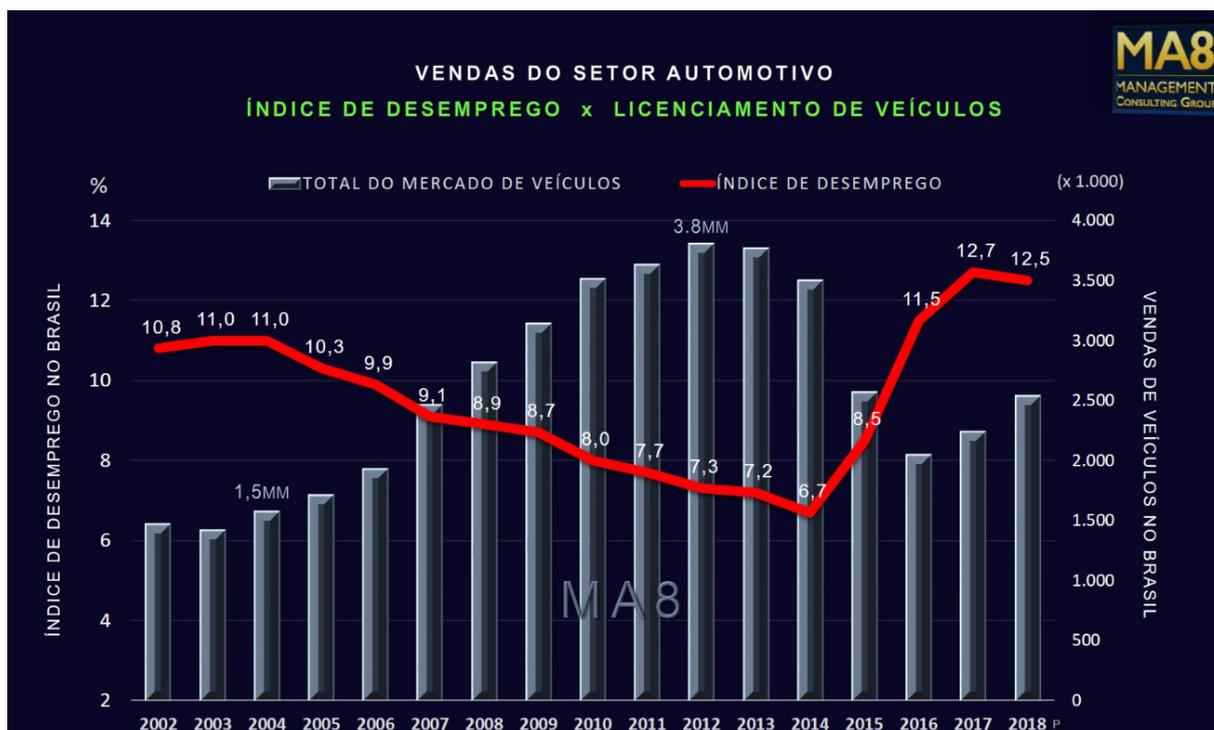
reservatórios, produzindo gás metano, no qual tende a aumentar quando os reservatórios inundam grandes áreas.

Com base nesses dados, o coautor da pesquisa e doutorando na Universidade Carnegie Mellon (EUA), o engenheiro brasileiro Felipe Faria, acredita que os resultados do estudo ajudam a derrubar a crença de que hidrelétricas necessariamente geram energia limpa, mostrando que os níveis de emissões variam bastante conforme o projeto. Além disso, para Faria, há fortes incentivos para a construção de hidrelétricas, que são atrativas no Brasil, principalmente, por terem baixo custo em relação a outras fontes e dada a vasta experiência em construí-las. Por outro lado, o doutorando afirma que: "boa parte dos tomadores de decisão do setor elétrico foram formados dentro da indústria hidrelétrica, e há por isso um apelo e um *lobby* muito forte por essa fonte". Por conta deste estudo, a BBC News entrou em contato com o Ministério de Minas e Energia (MME), o qual afirma que estudos iniciados em 2011 a pedido do órgão "desmistificaram que usinas hidrelétricas em regiões tropicais são usualmente fontes relevantes de emissão de gases causadores do efeito estufa". Segundo o MME, as análises de hidrelétricas brasileiras revelaram emissões entre dez e 500 vezes menores que usinas térmicas a carvão, exceto no caso de Balbina (AM). "A energia hidrelétrica existente no Brasil é energia limpa e renovável", conclui o órgão.

b) Baterias

A bateria de um veículo elétrico é um dos assuntos mais discutidos hoje no setor automobilístico devido à relevância de seu preço e peso, determinando, assim, grande parte do sucesso de um veículo elétrico lançado hoje no mercado. Por esse motivo, pode-se observar montadoras passando a concorrer com seus fornecedores ao começarem a produzir suas próprias baterias. Essa mudança na estrutura produtiva vigente ocorre por dois fatores. De um lado, pela redução do mercado de automóveis, que era de um patamar acima de três milhões de veículos licenciados de 2009 a 2014, mas que não conseguiu se recuperar da crise de 2015, mantendo o número de veículos licenciados abaixo de 2,5 milhões de veículos em 2018, limitando assim o mercado principal dessas empresas, de forma que estas passam a compensar essas perdas adentrando o mercado de autopeças e de reposição. Somado a isso, o fato de a bateria ser o componente de maior custo nos veículos elétricos e o maior desafio na relação peso versus autonomia na corrida pela solução energética para os veículos elétricos.

Gráfico 3 - Vendas de veículos do setor automotivo



Pensando nisso, o grupo PSA vai começar a produzir suas próprias baterias para seus veículos híbridos e elétricos em sua planta em Virgo, na Espanha. A montadora era abastecida por duas das três principais fornecedoras de baterias lithium-ion, LG Chem e a Contemporary Amperex Technology Ltd. (CATL) (Benchmark Mineral Intelligence Lithium ion Battery Megafactory Subscription, 2019). O mercado de baterias para veículos elétricos é dominado por empresas chinesas e japonesas, sendo só a chinesa CATL responsável por 26,4% do mercado total. Esse domínio das empresas asiáticas no mercado de baterias automotivas de lithium ion, somado à expectativa da PSA de queda da produção de sua maior fábrica de motores a diesel de 1,8 milhão unidades em 2018 para 1,7 milhão em 2019 devido à acentuada queda de veículos a diesel na Europa, ajudam a compreender a decisão do grupo PSA (Automotive News Europe, 14/06/2019).

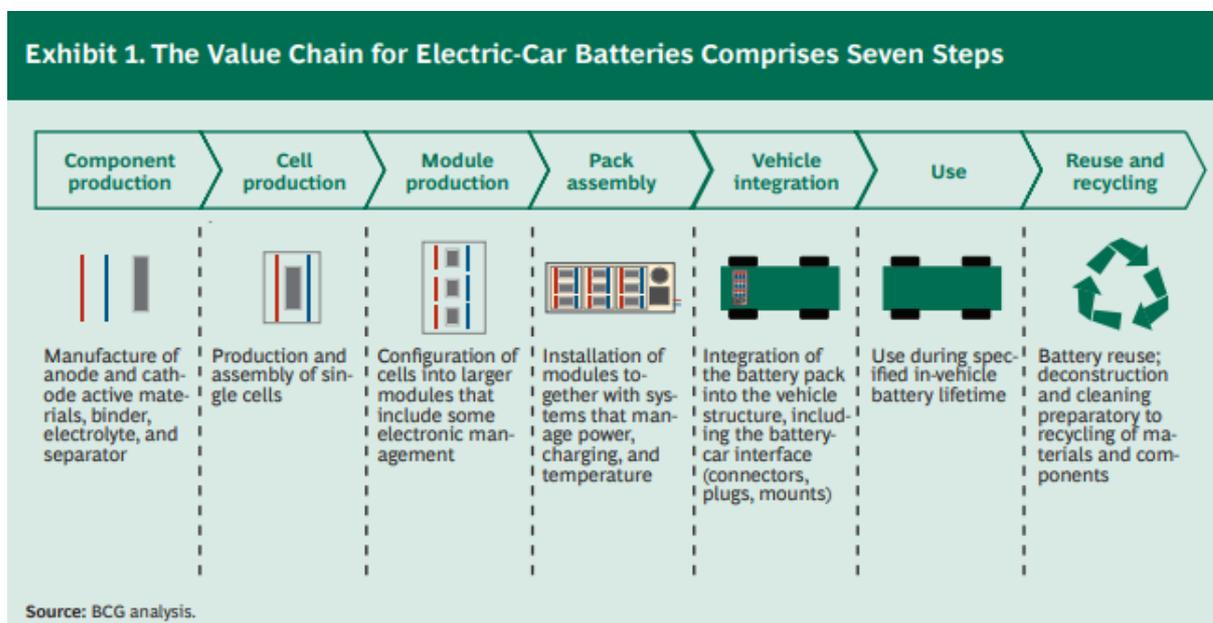
Já a Honda tomou a decisão de investir em outra matéria-prima para as baterias. Cientistas do Honda Research Institute em parceria com pesquisadores do California Institute of Technology (Caltech) e o laboratório da NASA – NASA’s Jet Propulsion Laboratory – estão desenvolvendo uma nova bateria química a base de flúor, as chamadas flúor-based battery (FIB) a qual, de acordo com Dr. Christopher Brooks, cientista-chefe do Honda Research Institute, promete ter dez vezes mais densidade energética que a atual bateria de íon-lítio. Além disso, o cientista afirma ainda que as FIBs não apresentam risco em altas

temperaturas, como é o caso das baterias de íon-lítio, além de ter um impacto ambiental menor em seu processo de extração quando comparada à extração do íon-lítio e do cobalto. A vantagem de operar em altas temperaturas é, ao mesmo tempo, a desvantagem das FIBs, uma vez que a bateria em estado sólido de flúor precisa estar no mínimo a 150 graus Celsius para operar. Contudo, os pesquisadores dessas instituições descobriram um método de criar uma célula de íons eletroquímicos de flúor capazes de operar em temperatura ambiente a partir do flúor líquido quimicamente estável que conduz eletrólitos de alta condutividade e que opera em alta voltagem (hondanews.com, 06/12/2018).

As baterias de lithium-ion, por sua vez, possuem ainda diversas soluções que envolvem diferentes materiais utilizados como ânodo e cátodo nas baterias, as quais ainda estão sendo estudadas para melhorar entender suas vantagens e desvantagens em relação a custo, segurança, *performance*, impactos ambientais e entre outras variáveis. Na visão do Grupo responsável por um estudo sobre baterias de lítio-íon, o Boston Consulting Group (BCG), as tecnologias mais proeminentes na indústria automotiva são as de lítio-níquel-cobalto-alumínio (NCA), lítio-níquel-magnésio-cobalto (NCM), lítio-magnésio-espínélio (LMO), lítio-titânio (LTO) e lítio-fosfato de ferro (LFP). Na visão do grupo, a solução mais adequada seria a de lítio-óxido de carbono (LCO), contudo, por questões de risco, não foi considerada adequada para a indústria automotiva.

A escolha de uma tecnologia ou outra é determinante para a cadeia de valor das baterias de veículos elétricos. A seguir, é possível observar os passos da cadeia de valor de uma bateria para veículos elétricos criada pela CGG neste estudo.

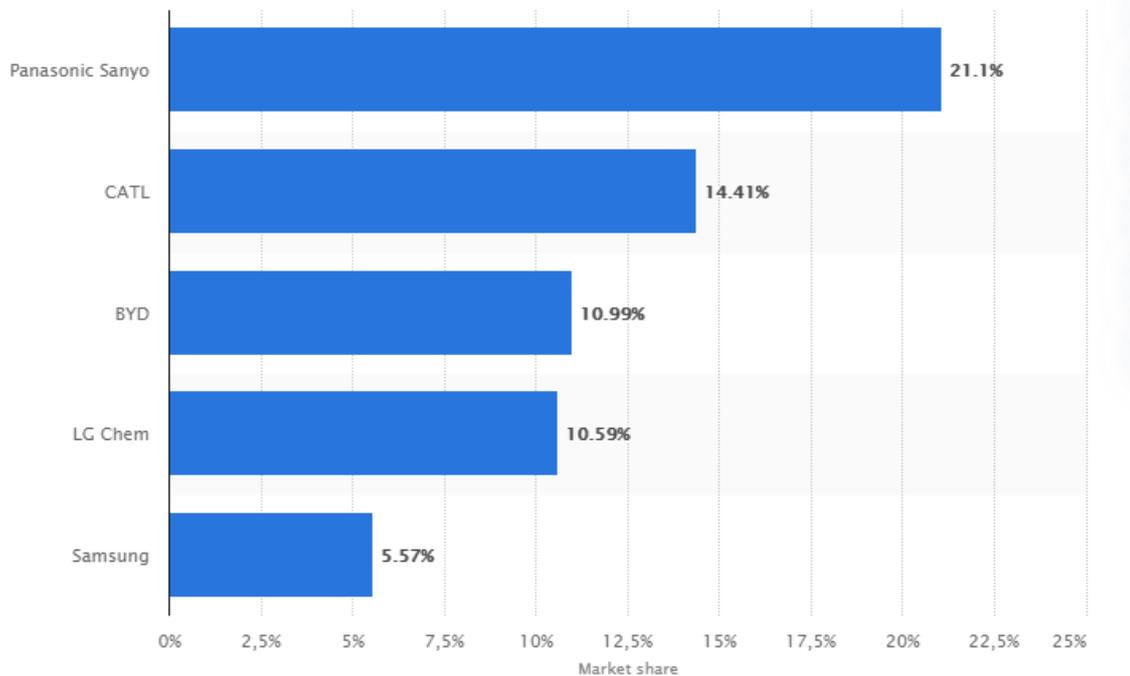
Quadro 1 - A cadeia de valor das baterias de veículos-elétricos em sete passos



Fonte: Boston Consulting Group (BCG)

As baterias que têm as maiores participações de mercado, de acordo com a empresa Statista, em 2018, são a Panasonic Sayo, com 21,% e logo atrás a CATL e a BYD com 14,4% e 10,99%, respectivamente. As tecnologias vigentes nas baterias automotivas da líder de mercado são, além da bateria de lítio-íon, a bateria de hidreto metálico de níquel (Ni-MH). A demanda por lítio neste ano alcançou quase 78 mil toneladas métricas de carbonato de lítio em 2016.

Gráfico 4 - Participação do mercado global de baterias lítio-íon – 1º semestre de 2018



© Statista 2019

Fonte: Statista.com

c) Células a Combustível

Expandindo a análise para outros tipos de combustíveis, deve-se considerar ainda outros tipos de biocombustível, entre eles, as células de combustível que aceitam o uso do etanol, como a Célula de Óxido Sólido (SOFC). Para iniciar essa etapa da análise, cabe entender primeiro o que são as células de combustível. Essas células são, em princípio, baterias de funcionamento contínuo, que produzem corrente contínua pela combustão eletroquímica a frio de um combustível gasoso, geralmente hidrogênio, produzindo, assim, eletricidade praticamente sem emissão de qualquer substância tóxica. Em suma, seu produto é basicamente H₂O. Porém, o conceito de células a combustível é bem mais abrangente. Diferentes células podem ser utilizadas de acordo com o tipo de eletrólito utilizado e pela temperatura de operação, sendo a mais comum delas a de hidrogênio, devido à sua alta reatividade (WENDT; GOTZ, 1997).

No artigo "Brennstoffzellentechnik", de H. Wendt e M. Götz, publicado na revista *Chemie in unserer Zeit* 31(1997, p. 301-309), os autores apresentam diferentes tipos de

células utilizados e suas vantagens e desvantagens físico-químicas. O princípio das células a combustível, contudo é muito mais antigo, datado em 1835 e foi proposto por Sir Grove. Desde lá, diversos estudos foram feitos em relação a essa tecnologia, com momentos de euforia, como na indústria alemã nos anos 1990. Na atualidade, com a retomada dos veículos elétricos, observa-se um novo pico de euforia em relação a essa tecnologia que vem sendo estudada no país desde a década de 1970 por diversas universidades. As células mais conhecidas são as de metanol e etanol.

Com base em pesquisa elaborada anualmente pela KPMG, com aproximadamente mil executivos do setor automobilístico de 42 países, as três principais tendências do setor automobilístico, na visão dos entrevistados, são conectividade, digitalização e os veículos elétricos movidos a bateria e a célula a combustível. Vale destacar que 78% dos entrevistados acreditam que a tecnologia de célula a combustível representa a melhor alternativa para solucionar a eletrificação em massa do transporte viário.

Um reflexo dessa tendência é a decisão de uma das maiores montadoras do mundo, a Nissan, de escolher o Brasil como plataforma para o desenvolvimento da primeira célula de combustível alimentada por etanol - isso é, as células de combustível que aceitam o uso do etanol, como a Célula de Óxido Sólido (SOFC). Segundo o consultor de Emissões e Tecnologia da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), Alfred Szwarc: “A boa notícia é que a Nissan conseguiu extrair hidrogênio diretamente do etanol por meio de um equipamento reformador, instalado junto à célula de combustível. Isso dispensa a necessidade de se investir na produção de hidrogênio e na sua logística de distribuição. Sem contar os cuidados extremos com segurança, já que se trata de elemento químico volátil” (UNICA, 02/08/2017).

A nova SOFC utiliza a reação do oxigênio com o biocombustível de cana (anidro ou com 55% de água) para produzir o hidrogênio. A expectativa da Nissan é aprimorar a tecnologia para chegar ao mercado até 2020. Já foram realizados testes em um protótipo apresentado durante as Olimpíadas do Rio de Janeiro, os quais demonstraram que 30 litros de etanol deram uma autonomia de até 600 quilômetros, marca igual ao de um modelo convencional à combustão, porém sem a necessidade de longos períodos de recarga das baterias. Em linha com as ações previamente mencionadas, a Nissan assinou em 26/04/2019 um convênio com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) para realizar estudos de utilização do bioetanol em veículos elétricos. A pesquisa, que será feita pelo Laboratório de Genômica e BioEnergia, conterà análises, pesquisas e desenvolvimento de produtos para demonstrar a viabilidade do etanol de segunda geração - extraído da cana-de-açúcar - na

mobilidade elétrica. A Nissan espera que seus modelos, equipados com células SOFC, alimentadas com etanol, sejam lançados em até seis anos primeiro no Brasil e depois em outros países.

A aposta da montadora nesse tipo de combustível se dá não só pela redução de emissão de CO₂, uma vez que o etanol não provoca queima e não polui, mas também pelos incentivos locais, como a comitiva brasileira organizada pela Unica, e liderada pelo governador do estado de São Paulo, durante os meses de junho e agosto de 2019. A comitiva visitou mercados como o norte-americano, o chinês e o indiano para promover o etanol como uma alternativa aos combustíveis fósseis e mesmo o elétrico. O argumento apresentado pela organização é de que, baseado em dados coletados no mercado brasileiro desde 2003, quando os veículos flex passaram a ser comercializados no país, houve uma redução de 533 milhões de toneladas de emissão de CO₂. Vale ressaltar ainda que, a conta feita pela entidade considera o impacto em toda a cadeia produtiva dos combustíveis. Evandro Gussi, presidente da Unica, aponta problemas como a queima de carvão para a produção de eletricidade na Europa, assim como o próprio ciclo produtivo das baterias que emana ainda grandes quantidades de CO₂. Além do apoio do governador do Estado de São Paulo, a comitiva contou com o apoio da InvestSP, a qual reúne 31 representantes de empresas e entidades representativas das áreas de varejo, agronegócio, alimentos e bebidas, inovação e tecnologia, infraestrutura e investimentos e serviços. Esses setores, responsáveis por uma receita anual superior a 50 bilhões de reais, planejam investir cerca de 40 bilhões de reais nos próximos três anos.

Outra tecnologia já desenvolvida por outros *players* no mercado é a célula a combustível de metanol. Em março de 2019, Roland Gumpert, engenheiro por trás de marcas como Audi Quattro e Apollo, lançou um supercarro chamado Nathalie - um bólido de 800 cavalos que contém uma pilha de combustível de metanol barata e recarregável para carregar as suas baterias enquanto está em andamento. O veículo chega a alcançar 306 km/h com a vantagem adicional de o custo do metanol ser apenas um terço do custo do preço da gasolina, segundo o engenheiro. O impasse do uso da tecnologia, contudo, é o mesmo problema das outras tecnologias para baterias - a infraestrutura de recarga. Apesar de apresentar as vantagens citadas, a bateria elétrica ainda apresenta mais espaço no mercado e, por isso, Gumpert acredita que não haverá interessados em criar uma rede de infraestrutura para abastecer as células a combustível com metanol até que as baterias consigam atingir um alcance de autonomia maior do que os resultados apresentados atualmente.

Uma terceira tecnologia de células a combustível, e a mais popular nos dias de hoje, é a fonte de hidrogênio. Esta tecnologia recebeu um grande incentivo em 2015 quando a Toyota decidiu abrir mão de sua propriedade intelectual sobre a tecnologia de células a combustível movida a hidrogênio. A medida visa garantir que a empresa continue à frente desta tecnologia e, ao mesmo tempo, promover outras empresas e investidores a investir nesta tecnologia. Desde então, outras montadoras têm investido nessa tecnologia, como o acordo de cooperação para o desenvolvimento de células de combustível a hidrogênio entre Audi e Hyundai. O objetivo da aliança é trocar patentes para acelerar o lançamento de carros elétricos com gerador eletroquímico a hidrogênio e reduzir os custos, que até hoje inviabilizaram a adoção da solução em escala comercial. A motivação principal da aliança na busca por uma maturação dessa tecnologia é sua vantagem em autonomia: com um tanque de hidrogênio e o gerador eletroquímico, um carro elétrico com essa tecnologia pode rodar distâncias de até 600 km, igual ou superior aos automóveis que usam motor a combustão. Assim, indo na tendência de alianças e parcerias no desenvolvimento de novas tecnologias, as montadoras buscam nesta tecnologia, além de sua autonomia, um dos principais aspectos para o seu sucesso no mercado futuro incluem a produção regenerativa de hidrogênio e o estabelecimento de infraestrutura de abastecimento suficiente.

A Audi AG iniciou suas pesquisas com conceitos de célula a combustível há quase 20 anos. Fez seu primeiro teste com a tecnologia em 2004, no Centro de Competência de Células a Combustível do Grupo, localizado na planta de Neckarsulm, na Alemanha. A marca espera ainda, até o início da próxima década, apresentar seu primeiro FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle), um SUV. A Toyota, por sua vez, já lançou no mercado o seu primeiro sedã elétrico movido a células de hidrogênio, o Toyota Mirai. Uma das principais vantagens apresentadas pela Toyota é a rápida recarga que deve levar apenas 5 minutos, contra 30 minutos do restante. No caso de automóveis elétricos, esse tempo ultrapassa os 30 minutos. Com capacidade máxima cheia — de 4,5 quilos de hidrogênio —, o Mirai consegue rodar até 500 quilômetros. Para estimular o consumo dessa nova tecnologia, a montadora ainda apresenta incentivos oferecendo uma espécie de bônus de até 15 mil dólares, com validade de três anos, para que seus compradores possam abastecê-lo. A empresa ainda disponibiliza revisão gratuita durante esse período ou até que sejam atingidos 57 mil quilômetros rodados. Ainda sobre o uso de hidrogênio como combustível de células a combustível, esta apresenta outra vantagem em sua aplicação híbrida. Neste modelo, o hidrogênio pode ser utilizado como fonte energética tanto para a combustão interna, como para eletricidade - e não duas fontes diferentes como na maioria dos sistemas híbridos.

Por outro lado, um “efeito colateral” do uso deste combustível é sua produção, em que seu método mais comum de produção é pela termólise do gás natural. Esse processo, apesar de eficaz, leva à emissão de gases de efeito estufa. As alternativas de métodos de produção que não contam com a emissão desses gases são, contudo, de menor eficiência e de maior custo, uma vez necessitam de grande quantidade de energia inserida no processo produtivo. Além de menor eficiência, seu maior custo não é apenas em relação ao gasto energético superior, mais principalmente pelo seu alto custo de matéria-prima, somado ao processo de produção em si que também se torna custoso por contar com um alto grau de *expertise* de produção. A somatória destes dois fatores leva o abastecimento deste combustível a chegar a altos níveis de preço na ponta da cadeia: em torno de 15 dólares o quilo do hidrogênio. Assim, além da consequência produtiva do hidrogênio em si, outro obstáculo a ser superado é o de infraestrutura. Como já sinalizado há, ainda, uma restrita rede de postos de bomba de hidrogênio. Assim, baseado nesses limitantes, carros movidos a células de hidrogênio só estão disponíveis em países subdesenvolvidos, onde há uma alta renda média, como nos EUA, Europa e Japão, pelo preço médio de 60 mil dólares (tecmundo.com.br, 16/12/2006).

Indo ao encontro das medidas tomadas pelo setor privado, foi criado, ainda em 2003, a Cooperativa Internacional pelo Hidrogênio e Células a Combustível na Economia, em tradução livre, conhecida como The International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE), composta por 18 países-membros e da Comissão Europeia. O objetivo dessa instituição é acelerar a penetração de mercado desta tecnologia e dar suporte para estabelecer a infraestrutura necessária para a mesma. Um exemplo prático do que a instituição tem promovido é a implementação na Índia de 26 projetos RD&D (Research, Development and Demonstration) sobre diversos aspectos de tecnologias a células de combustível de hidrogênio como: desenvolvimento de materiais e técnicas seguras de armazenamento do hidrogênio, tipos de células a combustível, como materiais e componentes a serem utilizados e seus respectivos subsistemas; formas de transporte seguras deste combustível e o suporte de desenvolvimento da infraestrutura necessária para a energia a hidrogênio para o país. Este projeto é apoiado também pela Associação Nacional de Energia a Hidrogênio (NHEB, na sigla em inglês), a qual foi fundada no mesmo ano que a IPHE, visando solucionar os *gaps* tecnológicos presente no país para o desenvolvimento desta fonte energética em suas diferentes áreas. Um dos objetivos da associação é gerar cerca de mil mega-watts de eletricidade e chegar a mais de um milhão de veículos usando células a hidrogênio até 2020.

Por outro lado, de acordo com Hydrogen Europe, essa tecnologia ainda é custosa nesse estágio, dado seu alto custo de capital, isso é, o alto custo de produção até que se alcance um

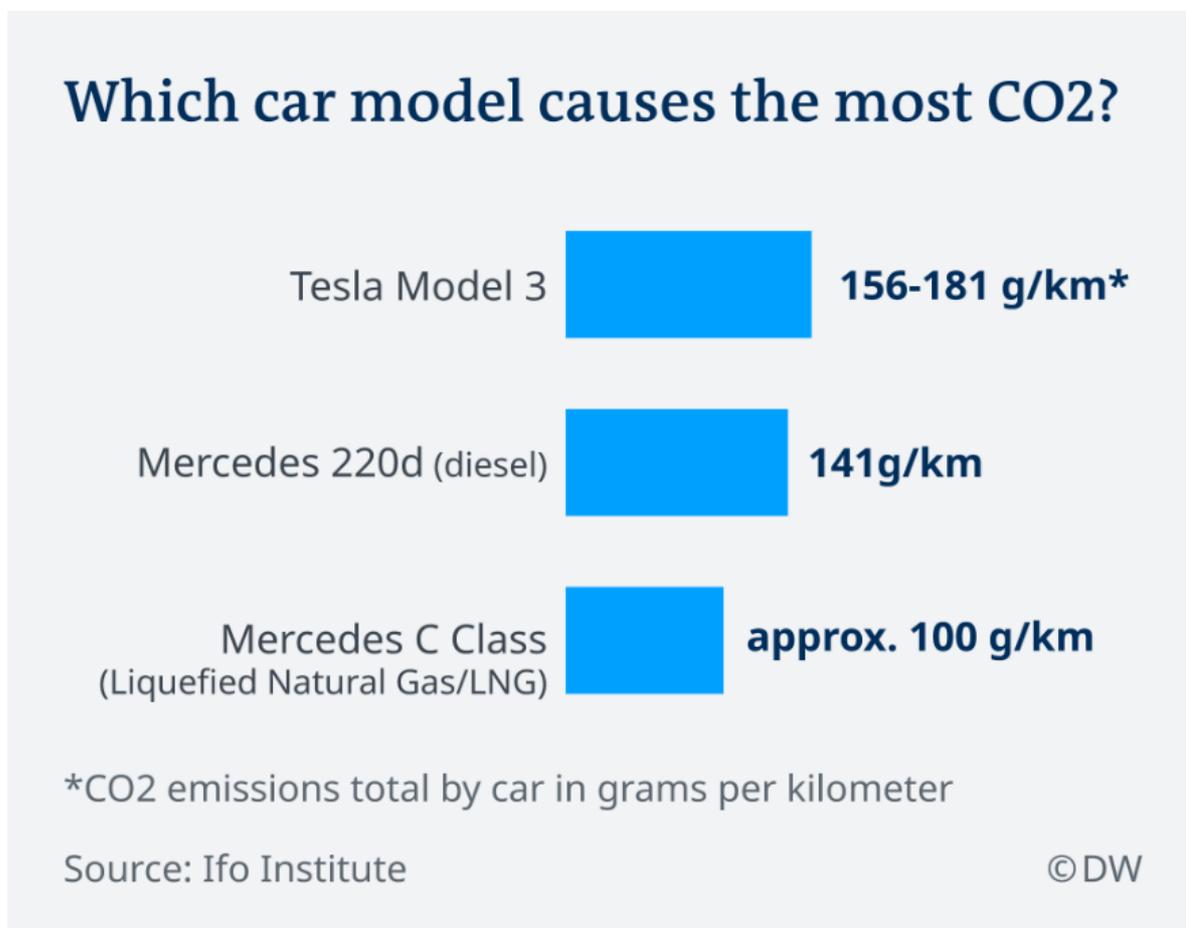
volume de mercado que seja grande o suficiente para haver ganhos em escala. Além disso, os analistas afirmam que a falta de uma regulamentação e uma política adotada para esta tecnologia está inibindo o desenvolvimento deste mercado (Irena, 2018). Assim, os analistas do Hydrogen Europe acreditam numa integração intersetorial para a promoção de células a hidrogênio na Europa. Além de reduzir as emissões de efeito estufa, esta tecnologia consegue integrar diversos setores - desde a mobilidade urbana até aplicações industriais - e, assim, otimizar ainda mais o custo da tecnologia em questão. Vale ressaltar, contudo, que não há uma discussão, ao longo do documento, sobre o papel do hidrogênio no caminho de uma economia de emissão zero de gás carbônico. Os impactos negativos das emissões mencionadas anteriormente em seu processo de produção vão contra a forma que esta tecnologia se apresenta nos mercados europeus, com a promessa de emissão zero de gás carbônico. Contudo, de acordo com o departamento de energia dos EUA, mesmo nos casos onde o hidrogênio é produzido com as fontes mais poluidoras, ainda há uma redução de 30% das emissões de gás carbônico, quando comparadas à gasolina (MRS Energy & Sustainability, Volume 2, 2015).

O hidrogênio não é, contudo, o único elemento a ser analisado nas células a combustível. Uma das maiores sistemistas do mundo, a Bosch, acredita que é necessário apenas um décimo da platina usada hoje nas células a combustível como catalisador na reação química que gera eletricidade via células hidrogênio nos veículos elétricos. De acordo com a sistemista alemã, em parceria com a Powercell Sweden AB desde abril de 2019, espera-se utilizar uma quantidade próxima a de um conversor catalítico num carro a diesel, que leva de 3 a 7 gramas de platina, contra 30 a 60 gramas de platina que são utilizadas hoje nas células a combustível. Essa diferença na quantidade necessária de platina nas células a combustível têm um importante impacto no preço da platina, uma vez que, por anos, esperava-se um *boom* na demanda deste produto. O reflexo desta descoberta já é encontrado na quantidade de platina utilizada pela Toyota no seu elétrico Mirai, de acordo com o diretor da consultoria E4tech, David Hart. Assim como a montadora japonesa, a sul-coreana Hyundai também já reduziu a quantidade de platina utilizada na nova versão de seu elétrico Nexa, lançado em 2018. Assim, de acordo com o chefe de desenvolvimento de negócios da Mitsubishi Corp., Jonathan Butler, espera-se um salto da demanda global de platina para células a combustível para veículos elétricos para 366 mil onças - cerca de 10,4 toneladas - de platina por ano (Reuters Sustainable Business, 13/05/2019).

2.3. Contra-argumento sobre o impacto ambiental de veículos elétricos

De acordo com um estudo publicado pelo Centro de Instituto para Estudos Econômicos (CESifo, em inglês) na Alemanha, em abril de 2019, os veículos elétricos não contribuirão para a redução de CO₂ na atmosfera terrestre, dado o atual *mix* da matriz energética vigente na Alemanha. O estudo foi feito com base em cálculos dos modelos Mercedes-Benz C 220 a diesel e o modelo novo da Tesla Model 3. Os autores do estudo, professores de física da Universidade de Colônia, afirmam que a legislação alemã é falha, uma vez que permite que os veículos elétricos movidos a baterias sejam classificados como “emissão zero de CO₂”, não considerando, assim, o impacto ambiental gerado em suas recargas.

Gráfico 5 – Emissão total de CO₂ por modelo de veículo em gramas por km



Ifo used the EU's NEDC (New European Driving Cycle) standard setting emissions from driving at 83 grams per kilometer (133.5 g/mile) for the Tesla Model 3, 117 g/km for the Mercedes diesel and 76 g/km for the Mercedes LNG. NEDC was replaced in 2018 by the WLTP standard, measuring emissions more accurately and meaning they are higher for all models

Source: DW.com

Para os físicos autores do estudo, motores de combustão a gás mineral são a tecnologia ideal na transição para veículos equipados com hidrogênio ou a metano, desde que mais limpo no longo prazo. A crítica a veículos elétricos se dá com base na matriz energética alemã, que, conforme Gráfico 6, apresenta 52.6% da energia elétrica gerada com base em combustíveis fósseis. Assim, de acordo com um dos líderes do estudo, Christoph Buchal:

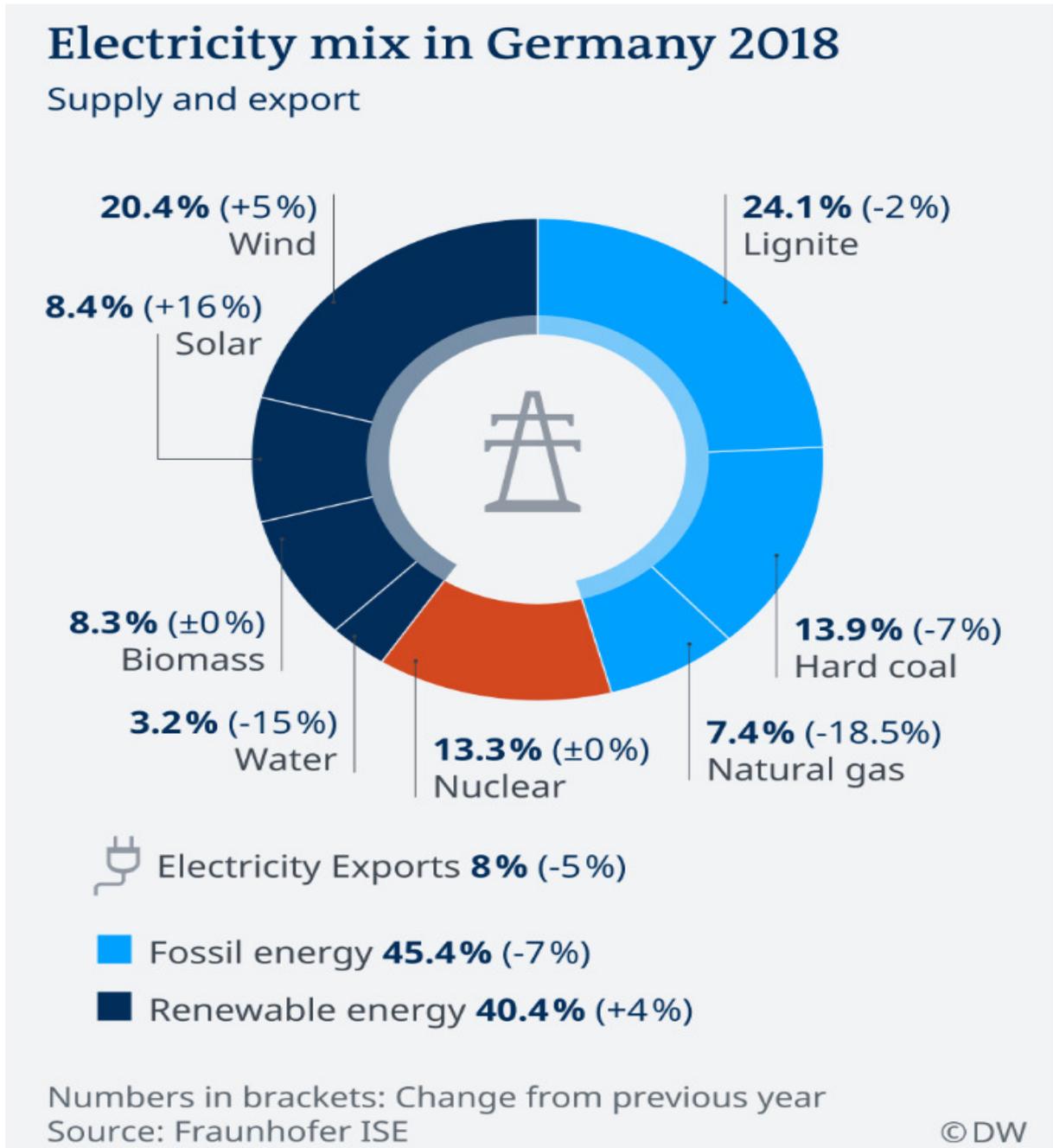
(...) hydrogen- or methane-powered electric cars still lead to slightly higher CO2 emissions in today's energy mix than battery-powered cars, but this disadvantage will turn into an advantage if the German electricity mix clearly moves in the direction of green energy, because then the lower energy efficiency is less and less important. Combustion engines powered by fossil methane already have very low CO2 emissions today. They are an ideal bridge technology for cars that can later use "green" methane.

The major advantage of hydrogen and methane derived from it is the ability to keep the excess current peaks for months, which will become increasingly important as the market share of wind and solar power exceeds 30%, and in the possibility of rapid refueling of the vehicles. The idea of providing the necessary storage of wind and solar energy with batteries is utopian, as the Leopoldina, Acatech and the Union of Academies of Sciences have emphasized. We have pointed that out. In this respect, the Federal Government can only be advised to promote hydrogen and methane technology in the sense of a technology opportunity. (Buchal et al, 2019, p. xx)

Esta argumentação ganha ainda mais força a partir de dados divulgados pelo instituto de pesquisas Climate Accountability Institute, dos EUA, em outubro 2019. O estudo aponta que um grupo de apenas 20 empresas é responsável por mais de um terço das emissões de gases causadores do efeito estufa – todas elas no setor energético, entre produtoras de petróleo, gás natural e carvão. A pesquisa foi feita com base em um cálculo baseado na produção anual dessas *commodities* – desde a extração até o uso final do combustível – com base nas informações fornecidas pelas empresas. O autor do estudo, Richard Heede, aponta ainda que estas empresas têm responsabilidade moral, financeira e legal pela crise climática. O que chama atenção, contudo, é que se pode observar o setor automobilístico tomando frente

dessas mudanças, enquanto muito pouco se tem conhecimento de ações mitigadoras empreendidas por grandes produtoras na atual matriz energética – inclusive as 20 empresas citadas como maiores emissoras dos gases causadores do efeito estufa.

Gráfico 6: Mix da matriz energética Alemã em 2018



Fonte: DW.com

Contudo, a Alemanha pretende aumentar a participação de energias renováveis na sua matriz – tendência que já vem sendo observada nos últimos anos –, com uma meta de atingir 85% de energia de fontes renováveis até 2050.

Em contrapartida aos resultados obtidos no estudo da CESifo, um renomado grupo de estudos, a Fraunhofer ISE Think Tank, critica os números acima, argumentando que o modelo 3 da Tesla não deveria ser usado como base de dados devido à sua alta potência, além de contestar também a forma como foram realizados os testes. A discussão, no fim, gira em torno do *mix* que há hoje da matriz energética alemã, na qual é composta majoritariamente por combustíveis fósseis. Assim, tanto os autores do estudo da Universidade de Colônia, como o grupo de estudo da Fraunhofer ISE, concordam que a solução para a redução de emissão de CO₂, no país, depende do aumento da participação de fontes de energia limpa. É importante ressaltar ainda que este argumento, em relação à maior emissão de CO₂ de veículos elétricos, é válido somente para a Europa e não para o Brasil, uma vez que ,segundo o professor Nivalde Castro, que coordena o Grupo de Estudos do Setor Elétrico (Gesel): “Enquanto no resto do mundo é entre 17%, 18%, o Brasil tem 80% de energia renovável”. Só as hidrelétricas são responsáveis por 60% a qual, apesar de limpa, também apresentam impactos ambientais, uma vez que causam inundações, destruindo a fauna e a flora ribeirinha; além dos impactos sociais por causar o despejo de inúmeras famílias, de acordo com o Ministério Público Federal (Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da USP, José Roberto Simões Moreira, 12/11/2018) .

De acordo com a consultoria britânica Ricardo, ainda cabe considerar as emissões de todo o ciclo de produção dos veículos elétricos que utilizam bateria. Se se considera apenas o processo produtivo, há uma maior emissão de gás carbônico na produção de um veículo elétrico do que de um a combustão, devido à produção da bateria em si. Contudo, ao longo da vida útil de um carro, a emissão de veículos elétricos acaba compensando em relação aos a combustão. Isso porque, de acordo com a consultoria, um carro familiar médio a gasolina gera, em média, cerca de 24 toneladas, enquanto um veículo elétrico produz cerca de 18 toneladas – sendo 46% dessa emissão causada na produção do carro em si e de sua bateria (Quatro Rodas, 08/05/2018).

3. Alterações nas estruturas corporativas

Essas transformações na estrutura produtiva do setor automobilístico têm levado as empresas a começarem a realizar inovações também na estrutura organizacional de suas corporações, visando se adaptar às mudanças e realizar a transição destes modelos de negócios de forma menos custosa e com menor impacto negativo possível.

Uma das tendências que se pode observar são alterações nas suas unidades de negócio, como é o caso citado anteriormente da Delphi, assim como a CNH Industrial, que se dividiram em diferentes “subempresas” visando ter foco nas unidades de negócio. No caso da CNH Industrial, a divisão da empresa, que deverá ser concluída no início de 2021, será feita entre *on-highway* para as marcas como a Iveco, para veículos comerciais; e *off-highway* para suas marcas da Case e New Holland para máquinas agrícolas e de construção. A expectativa da empresa é que, com maior enfoque em cada uma das unidades de negócio, a empresa conseguirá alinhar os investimentos visando torná-los mais eficientes, isto é, ter um maior retorno por capital aplicado. Além disso, o enfoque nos seus respectivos segmentos deve dar maior transparência para os investidores na hora de aplicar seu capital – a empresa parte do pressuposto, nessa tomada de decisão, que o mercado prefere negócios com portfólio mais reduzidos e menos complexos, onde há mais enfoque na unidade de negócio.

Contudo, essa ação de modernização corporativa não é apenas uma divisão das unidades de negócio. Outras medidas são tomadas em paralelo, como é o caso do aumento de utilização da capacidade instalada das fábricas, de acordo com Hubertus Mühlhäuser, CEO da CNH Industrial, que passará da média atual de 66% para 85%, com redução de 1,2 milhão de metro quadrado – o que significa que haverá encerramento de atividade em plantas, acarretando, assim, também impacto direto no mercado de trabalho.

Um impacto que já vem sendo notado no sistema corporativo nessa fase de implementação tecnológica é a inovação das estruturas corporativas visando uma maior compatibilidade com o *modus operanti* de um veículo elétrico e, conseqüentemente, o novo conjunto de componentes, fluxo logístico e capacidade de absorção de mão de obra, entre outros fatores. Um importante exemplo disso foi a separação de negócios ocorrido na empresa Delphi, em 2017, uma das maiores sistemistas do setor. A cisão da empresa entre a divisão de *powertrain* e a divisão de eletrônica automotiva (Automotive Business, 2017) deixou clara a estratégia da empresa, que terá dois focos diferentes – uma voltada para veículo com motor a combustível fóssil e outra voltada aos componentes para veículos elétricos. Além da mudança

corporativa em si, a empresa apresenta outros sinais sobre a direção para a qual está indo, ao anunciar a inauguração de sua planta de eletrificação e eletrônicos em Blonie, na Polônia em setembro de 2019. A planta irá inicialmente produzir unidades de controle elétricas, visando, por ora, o mercado europeu. A nova planta tem capacidade para gerar mais de mil novos empregos, segundo o site oficial da empresa.

A adoção de uma nova ideia é difícil, mesmo quando aparenta existir óbvias vantagens. Muitas inovações requerem um longo período de tempo entre sua disponibilidade pioneira e sua ampla adoção. Portanto, um problema comum para indivíduos e organizações é como acelerar a taxa de difusão de uma inovação (Everett Rogers, *Diffusion of Innovations*, 2003). O modelo de difusão tecnológico, complexidade, possibilidade de experimentação e visibilidade e os impactos que a implementação da mesma acarreta, desde impactos sociais e econômicos a ambientais.

A quarta revolução industrial exige um redesenho das políticas públicas e a forma como concebemos, projetamos, desenvolvemos, construímos e implementamos esses novos sistemas. Assim, o conceito da indústria 4.0, que nasceu na Alemanha em 2011, nada mais é do que uma política nacional deliberada que visa, a partir de uma ênfase no emprego de tecnologias de informação e comunicação, promover um salto tecnológico no setor industrial.

3.1. Alterações de componentes dos veículos

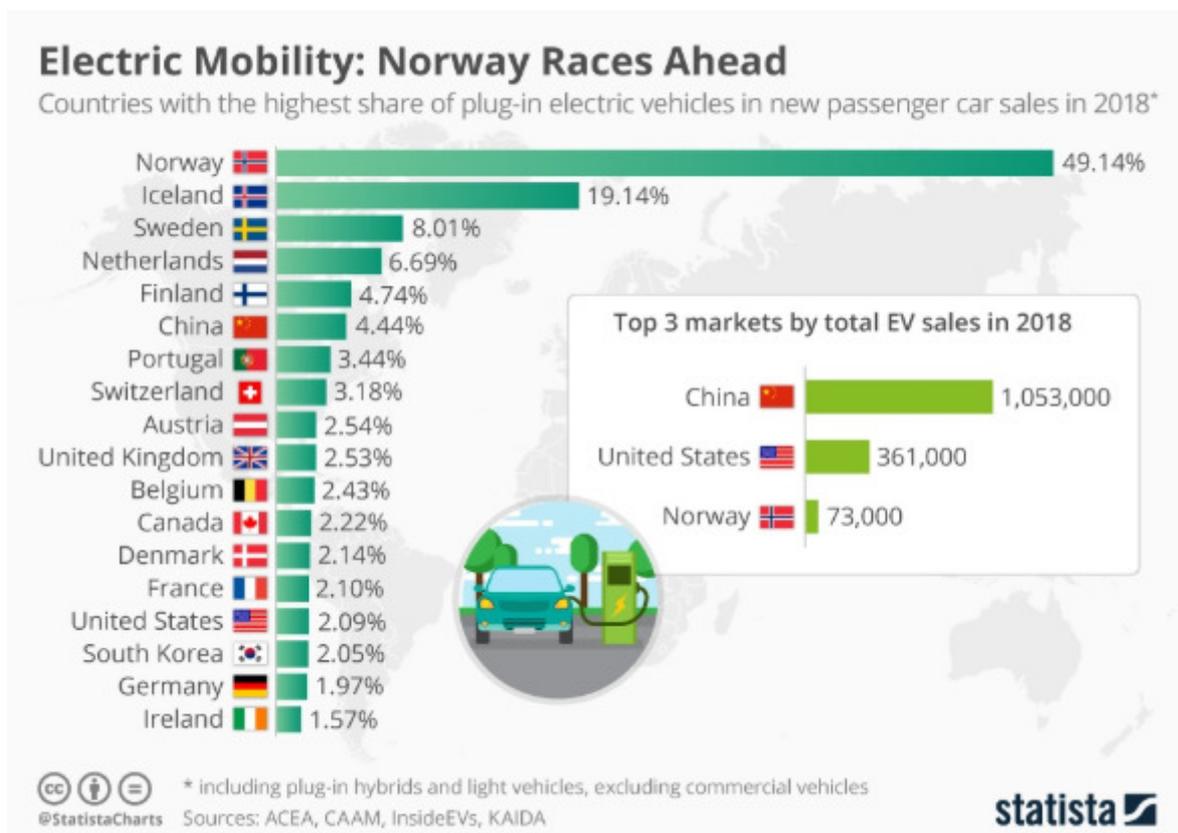
Um exemplo concreto disso são os próprios EVs. Esses veículos são menos complexos, uma vez que possuem menos componentes, afetando diretamente toda a cadeia produtiva, uma vez que a eletrificação deve diminuir a demanda por peças de reposição como um todo, já que o carro elétrico não tem filtro de combustível, de óleo ou de ar, nem velas, cabos, bobina, bomba de injeção, etc. Contudo, em outras linhas de produto seguem sem impactos, como palhetas, filtros de cabine e freios.

Os veículos puramente elétricos contêm oito principais componentes, conforme segue: 1) Bateria (auxiliar totalmente elétrico); 2) Bateria de Tração; 3) Conversor CC/CC; 4) Motor elétrico de tração; 5) Carregador a bordo; 6) Controlador de eletrônica de potência; 7) Transmissão elétrica; 8) Ponto de carga. Os híbridos, por sua vez, contêm, além dos itens mencionados acima, contam ainda com um gerador elétrico, sistema de escape, tanque de combustível, motor de combustão interna e sistema térmico. As diversas *startups* que estão aparecendo no mercado provendo serviços como pesquisa de preço de diversas fontes dão mais transparência para os usuários. E-commerce e marketplaces diminuindo custos logísticos

e de transporte uma vez que essas empresas modulares têm grande capilaridade logística, diminuindo os custos e muitas vezes concentrando em um só local os estoques.

O eAxe, é um exemplo que combina motor, sistema de transmissão e eletrônica de potência num único módulo, e é o principal sistema de propulsão para veículos elétricos no mercado atualmente.

Gráfico 7 – Participação de mercado de veículos plug-in elétricos leves vendidos por país em 2018



Fonte: Statista.com

Não podemos deixar de mencionar que, mesmo que haja claros benefícios e vantagens em utilizar etanol e biodiesel como alternativas de fonte energética, há um impacto intenso nos preços e qualidade de produtos de alimentação básica como é o caso do milho e da soja nos EUA, um dos maiores consumidores destes itens em nível mundial, e da cana de açúcar e também da soja no Brasil. Devido a uma demanda cada vez maior de jovens da chamada Geração Y por uma Economia Verde - termo criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio ambiente (Pnuma) no ano de 2008 e refere-se ao conjunto de ações que visam à promoção de uma economia com crescimento pleno, que se baseie no bem-estar social e que

esteja centrada em reduzir os riscos ambientais e conservar o meio natural -, a qual busca por empresas e soluções que tenham o menor impacto ambiental e social possível, incluindo os impactos colaterais como os mencionados do etanol e do biodiesel.

4. Aplicação da teoria neo-schumpeteriana na análise do cenário atual de desenvolvimento dos carros elétricos

Esta etapa do trabalho procura fazer uma breve análise crítica acerca do desenvolvimento dos carros elétricos, com base nas ideias neo-schumpeterianas, segundo as quais a tecnologia é a raiz do crescimento econômico. Este, por sua vez, dependerá do direcionamento dos investimentos em relação às técnicas presentes, assim como as regulamentações que vêm sendo criadas para suportar o novo paradigma, de forma a condicionar os mercados e seus atores para incentivar a tecnologia que se mostrar mais adequada para o momento histórico e condições atuais econômicas, sociais e geopolíticas – idealmente visando um crescimento econômico global e menos desigual entre as nações.

Com isso em mente, procura-se analisar as características em comum dos processos evolutivos da tecnologia, suas relações e *breakthrough* e como essas se relacionam com as instituições e políticas governamentais pesquisadas pelos neo-schumpeterianos, assim como uma análise da estratégia de desenvolvimento adotada pela América Latina e a Ásia - as economias tardias - no século anterior e suas consequências nos dias de hoje.

4.1 Características do processo de evolução tecnológica

Para entender o que leva uma tecnologia a ter sucesso ou não, precisamos entender primeiro o que leva os agentes econômicos a transformar uma invenção em uma inovação, isto é, qual o direcionamento que tomará seus investimentos e quais as principais decisões a serem tomadas dentro da estratégia definida por estes agentes.

A motivação continua a mesma no universo capitalista - o lucro - contudo, o processo de tomada de decisão entre uma tecnologia ou outra não é aleatório. Este será formado com base no contexto atual - como preços relativos, eficiência, instituições reguladoras, fatores institucionais e, é claro, o potencial de mercado e a aceitação da tecnologia pelo mesmo (Perez, 2007).

Assim, o definido paradigma (e dentro deste as trajetórias viáveis) é o que dará o ritmo e a direção das mudanças de uma dada tecnologia (Dosi, 1982 -ref. ref.). Este paradigma é, na visão de Dosi, um acordo tácito entre os agentes de quais os direcionamentos de pesquisa válidos para aprimorar certa tecnologia, envolvendo os fatores mencionados acima.

Um exemplo vívido disso é a escolha debatida no capítulo anterior sobre qual a melhor matéria-prima a ser utilizada nas células de combustível. Mesmo com a convergência

entre a maioria dos agentes sobre a célula de combustível em si ser a melhor escolha técnica para geração de energia num veículo elétrico – fato o qual é consolidado quando observamos os montantes de investimento das grandes montadoras e sistemistas – a escolha em torno da matéria-prima a ser utilizada neste processo ainda é bastante divergente entre os especialistas. Vale lembrar ainda que esta escolha depende, dentre outros fatores, dos interesses particulares dos agentes econômicos, mas também pela fase que estamos na trajetória do processo de desenvolvimento de uma tecnologia. Fase na qual os modelos ainda estão sendo testados e em busca de atingir as demandas de eficiência energética traçadas pelo mercado.

Algumas decisões estratégicas das empresas são fundamentais para o sucesso de seus projetos. Estas estratégias devem olhar tanto para o campo macroeconômico, como os preços de *commodities*, estabilidade política e econômica dos países com potencial exportador destas matérias-primas e posição geopolítica dos mesmos; quanto para os fatores microeconômicos como custo de produção do produto, vida útil, eficiência, nível de complexidade de produção, montagem e de estocagem, assim como os custos de transporte e logística.

Além da discussão sobre os produtos e serviços que regem o núcleo da inovação tecnológica disruptiva, temos um efeito o qual Enos definiu como inovação incremental (1962) que nada mais é do que um conjunto de processos que envolvem outros agentes como distribuidores, fornecedores e até mesmo consumidores. De acordo com Utterback e Albernathy, depois da fase de *take-off* das inovações que lideram as mudanças de produto e serviço, as inovações incrementais ultrapassam não só em números, como em importância, aquelas. Isso porque as grandes inovações demandam inovações complementares: desde inovações de produto, como é o caso das baterias de íon-lítio ou as células a combustível, até todo um mercado complementar que é a mobilidade urbana na qual, a partir do conceito de Smart Green Growth (Perez, 2017) que alterou a relação dos usuários com os mais diversos meios de transportes, nascendo a indústria de patinetes elétricos e fomentando a indústria da bicicleta, para dar alguns exemplos mais notórios.

O impacto deste novo paradigma tecno-econômico vai além do impacto econômico que se expande via inovações incrementais que nascem num campo inovativo criado pela inovação disruptiva pioneira; este novo paradigma tem presente soluções de mercado extremamente conectadas, as quais envolvem diversos aspectos da vida cotidiana - os *smartphones* são utilizados para a maioria das suas tarefas do dia-dia, desde pagar contas até para entretenimento. A função desta tecnologia, a qual era utilizada majoritariamente para realizar ligações, teve sua relevância diminuída em alto grau no cotidiano atual. Essa mudança

de comportamento social impacta não somente a forma das pessoas se conectarem umas com as outras, mas também com suas tarefas, seu lazer e até a forma de nos comunicar.

4.2. Estratégia de desenvolvimento da América Latina

A decisão de um governo acerca de uma estratégia desenvolvimentista é mais complexa do que se imagina a princípio. Não se trata apenas do objetivo final que uma nação define para avançar aos elos mais nobres das cadeias produtivas internacionais. Este objetivo, apesar de extrema importância, deve abranger questões-chave – as quais, por sua vez, devem ser factíveis diante do momento histórico e de sua posição geográfica e econômica –, e deve também levar em consideração os meios pelos quais devem ser traçados para alcançar tais objetivos. Estes meios dependem de como as instituições são definidas a partir das políticas públicas como políticas macroeconômicas – monetária, fiscal e cambial – até políticas industriais, de incentivo à produção tecnológica, à agricultura, regulamentos ambientais e políticas sociais. Visando atingir os objetivos desenvolvimentistas, com base nessas políticas, muitas vezes é necessário que o Estado realize reformas – tanto estruturais, como a reforma agrária ou tributária, quanto as institucionais, como a reforma trabalhista ou a autonomia do Banco Central de um país.

Além destas diversas variáveis a serem consideradas ao se traçar uma estratégia de desenvolvimento nacional, esta só será suscetível se considerarmos os fatores históricos na análise, como o ponto de partida de uma nação e o momento histórico e posição geopolítica em que a estratégia é implementada. A partir disso, temos o que é chamado de padrão de desenvolvimento, isto é, medidas, condições e processos que são aplicados em nações de estruturas e instituições semelhantes, como é o caso das nações de industrialização tardia, termo traçado por João Manuel Cardoso de Mello, para designar os padrões de desenvolvimento industrial dos países da América Latina no meio do século XX. Além do ponto de partida, como mencionado, devemos analisar o momento histórico. Isso porque é possível analisar ao longo do tempo como os padrões de industrialização se transformam conforme as demandas internacionais econômicas, políticas e sociais, além de ser adaptada conforme o tamanho da economia, base de recursos naturais, distribuição de renda e inserção geopolítica de cada nação.

A necessidade dessa reformulação estratégica pode ser observada na década de 1980. A estratégia de acumulação coordenada pelos Estados nacionais que predominava nas ideias keynesianas do pós-guerra foi desafiada pela ofensiva Reagen-Thatcher diante da crise da

dívida externa nos países em desenvolvimento e com a emergência da nova revolução tecnológica baseada nas tecnologias de informação e telecomunicação (TIC). Esta revolução, ao causar mudanças na divisão internacional do trabalho, assim como na matriz produtiva e financeira entre territórios nacionais, abriu espaço para emergência da ideologia neoliberal, trazendo assim, novas coalizões sociopolíticas e de estratégia de acumulação (MEDEIROS, 2013). Contudo, no momento histórico em que estamos imersos, com mudanças tecnológicas trazidas pela Indústria 4.0, novas formas de organização da produção por cadeias globais de valor, uma nova racionalidade e imposição de articular as facetas do ser humano pelo neoliberalismo (Dardot e Larval), acirramento da competição entre as maiores potências econômicas questionando a “Era da Globalização”, surge a necessidade de novos padrões de desenvolvimento econômico. A iminência de realizar reformas, visando uma nova inserção no cenário internacional e o desenvolvimento a caminho da igualdade e inclusão, é pouco debatida.

O conceito de redução do nível de pobreza, a necessidade de migrar para elos mais nobres da cadeia produtiva – ainda mais quando consideramos a necessidade de maior aporte de capital para investimentos cada vez mais altos e cadeias produtivas cada vez mais complexas e, assim, realizar políticas que gerem maior acúmulo de capital – a busca por segurança pública, visando a redução da violência e do nível de corrupção são fatores essenciais para reduzir os níveis de incerteza de uma nação. Todos esses pontos só podem ser alcançados com uma estratégia muito bem definida, a qual engloba variáveis centrais e polêmicas como o papel do Estado na economia, setores estratégicos de investimento, regulações ambientais, políticas macroeconômicas, restrições comerciais e relações trabalhistas.

Com base nisso, buscaremos fazer uma análise das possíveis aplicações de estratégias desenvolvimentistas a partir da abordagem do Banco Mundial e da Cepal, com foco nas economias em desenvolvimento diante das mudanças geradas pela quarta revolução industrial - ou Indústria 4.0.

4.3. Desafios da Indústria 4.0

Assim, o desafio hoje é, além da superação dos entraves estruturais apontados anteriormente, a superação do atraso econômico por meio de como as instituições foram estabelecidas em cada nação, seu grau de homogeneidade entre os interesses da indústria para minimizar os *gaps* tecnológicos entre esses países em desenvolvimento e os países já desenvolvidos, estes os quais contém uma base tecnológica já consolidada.

Para isso, uma das variáveis mais debatidas é a inserção das nações nas Cadeias Globais de Valor (CGV), tema abordado no relatório sobre o desenvolvimento mundial do Banco Mundial de 2020. Se resgatamos o caso desenvolvimentista dos países asiáticos como China, Vietnã e Bangladesh, é possível observar um aumento da renda e da produtividade ao serem inseridas nas CGV's na década de 1990.

Contudo, o cenário hoje, após a crise de 2008, não reflete a mesma realidade, uma vez que esse aumento de renda e produtividade entrou em declínio e passou a ser questionado se, de fato, existe um caminho para o desenvolvimento por meio das CGVs. Esse questionamento é, contudo, baseado mais nas economias que estão nos elos intensivos em mão de obra, como os primário-exportadores latino-americanos, os quais são diretamente impactados pelas tecnologias que economizam mão de obra como a impressora 3D e automação.

Outro fator relevante de impacto nessas economias é a atual crise comercial traçada entre EUA e China, que podem, via medidas protecionistas que já vêm sendo observadas, gerar internalização desses elos, acarretando numa redução do segmento de CGVs, movimento que sofre ainda mais impactos se considerarmos o declínio de crescimento global e, conseqüentemente, dos investimentos. Assim, buscaremos analisar como os países em desenvolvimento podem definir sua estratégia de desenvolvimento nesta etapa exploratória de melhoramentos de tecnologia (PEREZ, 2009) da quarta revolução industrial.

Há diversas formas de internacionalização das atividades e serviços intensivos em tecnologia - especificamente serviços voltados às tecnologias de informação e comunicação (TIC), as quais estão no núcleo do novo paradigma tecno-produtivo. Com isso em mente e, considerando a análise sobre a inserção nas CGVs, fica claro para os agentes econômicos a crescente importância do complexo eletrônico e seus componentes e serviços de valor intangível uma vez que, segundo Coutinho (1992, p. 70):

(...) a aplicação (ou criação por meio dela) da microeletrônica de uma base tecnológica comum a uma constelação de produtos e serviços (que) agrupou um conjunto de indústrias, setores e segmentos na forma de um 'complexo eletrônico', densamente intra-articulado pela convergência intrínseca da tecnologia da informação.

Este setor, o qual faz parte dos elos mais nobres da CGVs são, contudo, cada vez mais difíceis de se inserir, uma vez que este setor exige investimentos cada vez maiores e uma inserção conduzida de forma integrada, envolvendo todos os integrantes da sociedade - do setor público ao privado, dos agentes acadêmicos até a sociedade civil. Isso porque não precisamos apenas que a academia adapte suas teorias à uma nova realidade econômica, na qual os agentes privados criem novas tecnologias e soluções com o apoio de políticas públicas

que gerem sinergia entre Estado e empresas, mas também que haja uma mudança no *mind set* da população, agentes essenciais ao direcionar o rumo das tecnologias.

Os desafios desta quarta revolução industrial, a qual é uma nova chance de desenvolvimento para muitos países subdesenvolvidos, não para aí. As inovações tecnológicas têm resultado em mudanças estruturais do lado da oferta, as quais geram aumento de produtividade e eficiência no longo prazo a partir de drásticas quedas nos custos de transporte e armazenamento – que, por sua vez, muitas vezes resultam em um encurtamento na cadeia produtiva, via *eCommerce e marketplaces*, gerando, assim, queda no nível de preço.

Outra tendência que vem contribuindo para essa queda no nível de preço e que aparenta ter chegado para ficar no mercado, é a impressora 3D. Esta tecnologia permite que os protótipos realizados por empreendedores sejam testados de forma mais rápida e barata. Essa ferramenta facilita, assim, a entrada de novos players ao diminuir as barreiras de entrada. Um exemplo disso são as numerosas *startups* que vem surgindo principalmente no mercado automotivo - setor extremamente concentrado quando observamos o mercado tradicional de veículos a combustão. Contudo, quando observamos os produtores de veículos elétricos, já vimos a gigantesca Tesla na qual em apenas 13 anos chegou a ultrapassar a gigante Ford em valor de mercado em 2017 com seus 47 bilhões de dólares contra 45 bilhões da concorrente Ford (Automotive Business, 2017).

O grande desafio para esses países em desenvolvimento é a reação das nações desenvolvidas e das grandes corporações sediadas nessas regiões, as quais tendem a se especializar nas atividades responsáveis pela criação de assimetrias competitivas em seus respectivos setores de atuação na atualidade. Em contrapartida, essas mesmas empresas tendem a dispersar, em escala global, outras atividades hierarquicamente menos nobres. A partir deste *outsourcing*, as grandes corporações permitem uma acumulação de capital suficiente para as grandes inversões de capital necessárias para os altos graus de investimento e longos períodos de maturação das Inteligências Artificiais (AI) e da robótica, uma vez que, além de intensivas em conhecimento e de alto potencial inovativo, são os principais elementos diferenciados e fontes de assimetria competitiva. A partir dessas assimetrias que dificultam o desenvolvimento de nações já atrasadas tecnologicamente, este novo paradigma, dada sua complexidade e forte integração entre funcionalidades, pode gerar, contudo um paradoxo devido à heterogeneidade que caracteriza a natureza dessas atividades e que resulta, assim, em diferentes padrões de concorrência (Roselino, 2006).

Para entender tal complexidade, vamos nos basear no conceito traçado no novo paradigma de organização industrial, dominante no século XXI e nascido na indústria eletrônica norte-americana, o chamado Global Flagship Networks. Este conceito, no qual chamaremos de *economias de rede*, é um conjunto amplo de atividades manufatureiras organizadas em sistemas modulares, com o princípio da digitalização das informações, com liberalização econômica e financeira que reduzem significativamente as restrições à movimentação do capital e da produção. Com base neste conceito, é possível, assim, analisar duas diferentes tendências intrínsecas às chamadas economias de rede: a tendência centrípeta - a qual se encontra em economias que tendem a gerar externalidades positivas crescentes, isto é, novos usuários e produtos de soluções complementares que beneficiam, assim, todos os segmentos relacionados a determinado sistema. E a tendência centrífuga, na qual, em geral, está presente em mercados menos concentrados, associada assim, à redução de barreiras e, conseqüentemente, à entrada de novos players. Além disso, há uma constante criação de novas funcionalidades, muitas vezes associadas às externalidades de rede criadas aos sistemas já consolidados (Diegues e Roselino, 2019).

A intensidade na qual cada tendência se apresenta, depende em grande parte da estabilidade dos padrões tecnológicos vigentes e da generalidade das respectivas tecnologias que caracterizam cada segmento deste paradigma. Desta forma, a tendência centrípeta é dominante nos períodos de estabilidade dos padrões tecnológicos e em setores que apresentam soluções com alto grau de generalidade, enquanto a tendência centrífuga é dominante em períodos de maior instabilidade e rupturas nesses padrões e em segmentos nos quais as tecnologias são bastante específicas.

Com base neste cenário onde, por um lado, temos as assimetrias competitivas sendo cada vez mais discrepantes por empresas multinacionais, sediadas em países desenvolvidos, nas quais já se encontram bem consolidadas e concentradas em setores de alta complexidade e generalidade, com alta concentração de conhecimento - o que torna mais difícil a entrada de novos players sem esse *know how* - como é o caso das gigantes Amazon, AliExpress e Google no setor de *bigdata* e *cloud computing*. Para se ter uma ideia da dimensão da influência e consolidação da Amazon, um dado publicado pela Verde Asset, mostra que, nos EUA, 52% da sua população possui a conta paga da companhia - Amazon Prime. Esta participação de mais da metade, ganha mais relevância quando comparado com outro dado, como 51% da população norte-americana frequenta igrejas.

Por outro lado, temos as chamadas externalidade de rede, que vai desde as áreas de suporte, como suporte técnico, até novos setores que vêm expandindo e gerando necessidades

de novas soluções integradas, como é o caso da logística e transporte para suportar o aumento de fluxo de vendas *online*, como podemos observar o sucesso e consolidação de *startups* de logística como Rappi e Loggi; até novos setores sendo criados como é o caso de novos setores energéticos que foram criados como a energia eólica e a solar.

4.4. Análise da visão estratégica do Banco Mundial

A visão do Banco Mundial para aumentar os ganhos decorrentes das CGVs é a partir da hiperespecialização que gera aumento de eficiência a partir das relações duradouras entre empresas promovendo, assim, a difusão de tecnologia, acesso ao capital e insumos ao longo da cadeia produtiva. A instituição chega a fornecer estimativas de crescimento da renda a partir do aumento da participação nas CGVs - considerando a extensão da participação, nível de especialização e grau de inovação. Contudo, o incremento na renda decai conforme a transição ocorre para setores mais sofisticados na cadeia. Além do efeito causado na margem da renda ser cada vez menor, essa mudança setorial exige um acompanhamento de incremento estrutural que tange cinco aspectos, de acordo com a taxonomia do Banco Mundial: (I) fundamentos políticos que dêem suporte para a transição setorial; (II) dotações - como maior abertura para acesso ao investimento em capital e qualificação da mão de obra e dos preços macroeconômicos; (III) tamanho e acesso aos mercados; (IV) infraestrutura logística e maior conectividade setorial; (V) instituições adequadas como maior transparência legislativa e instituições reguladoras.

Diante deste cenário heterogêneo e com variadas forças de mercado, as políticas públicas devem ser basear em estratégias de desenvolvimento claras se uma nação em desenvolvimento pretende se inserir em elos mais nobres da cadeia. Com base na classificação traçada por Diegues e Roselino, fica bastante evidente que há mais espaço para setores que resultam das externalidades da rede. Empresas voltadas para o *supply chain 4.0* - termo traçado para a nova complexa rede logística que vem se formando na indústria 4.0 - se torna uma das áreas de maior atratividade das empresas privadas. Contudo, para ser possível que as empresas nacionais obtenham sucesso nessa nova era, uma das propostas mais respeitadas para atingir este objetivo é a do Banco Mundial. De cunho liberal, a instituição apresenta propostas concretas que vão de encontro com o papel das Nações Unidas e do próprio Banco, a qual visa, a partir do financiamento a Estados nacionais, dar assistência para seu desenvolvimento, visando a redução da pobreza e das desigualdades sociais.

Estas propostas são contrárias às abordagens tradicionais da política industrial que abrangem medidas como incentivos fiscais, subsídios e exigências de conteúdo local para

incentivar seu mercado privado nacional a atingir os elos mais nobres da cadeia. Essas medidas tradicionais, comuns em abordagens protecionistas, são consideradas pela instituição como ações que distorcem os padrões de produção no contexto atual das CGVs – isto é, o padrão liberal no qual se acredita que interferências causam distorções à otimização do mercado livre.

Em contrapartida, o Banco Mundial apresenta diversas medidas indicadas a países em desenvolvimento que buscam migrar para elos mais modernos da cadeia produtiva, começando pelo investimento em capital humano - o que vai de encontro com o pensamento de muitos líderes empresariais, como é o caso do CEO da Apple Tim Cook, o qual afirmou no evento Bloomberg Global Business Forum, em 2017, que “If I were a country leader, my goal would be to monopolize the world’s talent”. Isso porque o mercado de trabalho está ainda mais segregado, uma vez que os trabalhos menos qualificados e mais operacionais e, assim, de menores salários, tendem a ser substituídos por máquinas, diante da indústria 4.0, via IA e automação. Enquanto isso, os trabalhos mais qualificados serão ainda mais complexos - inclusive com novas funções de trabalho sendo criadas, exigindo habilidades ainda mais elaboradas. Além disso, este cenário aumenta ainda mais a dicotomia e tende a gerar assim, aumento nas tensões sociais.

Com base na discussão das alterações na composição do mercado de trabalho, podemos analisar o papel do Estado Nacional diante de uma estratégia de desenvolvimento. Na visão do Banco, deve haver liberdade de contratação e demissão por parte dos empregados, mas para garantir que o desemprego resultante de mudanças estruturais - como a que vem sendo prevista nesta quarta revolução industrial - seja minimizada a partir de seguros-desemprego e programas ativos de reinserção da força de trabalho no mercado, como ocorre hoje na Dinamarca. É importante, ressaltar, contudo, que o Banco Mundial acredita que qualquer papel mais ativo do Estado gera distorções prejudiciais ao mercado. Além dessa coerção interna nacional, é necessário que haja cooperação internacional para evitar que haja aumento de custo de bens e serviços no caso de descoordenação que levem a múltiplas saídas e entradas nas fronteiras nacionais. O caso citado da guerra comercial entre China e EUA pode gerar incertezas e descoordenação de fluxo logístico que podem custar bastante caro para as CGVs.

Essas tensões no mercado de trabalho tendem a ser ainda mais tensionadas diante dessas mudanças quando consideramos a preocupação ética no debate. Com o desenvolvimento da robótica, temos máquinas com inteligência artificial as quais serão mais inteligentes e autônomas. Contudo, como podemos traçar e regular os limites éticos dessas

máquinas? Com base em quais padrões morais? A situação se torna complexa uma vez que não há um consenso, dado que os valores morais diferem para cada indivíduo para cada cultura, região, crenças e ideologias. Ainda dentro do debate ético e moral, surge outro alerta de risco: a segurança digital: nosso cotidiano se torna extensivamente conectado com diversos dispositivos - desde os nossos celulares até nossos carros e nossa casa. De *smartphones*, estamos entrando na era das *smart houses* e *smart cities*, onde tudo está conectado, aumentando assim, sua vulnerabilidade. Com isso, se há uma falha de segurança em alguma das pontas, compromete-se todo o sistema, uma vez que este é completamente interligado. Este cenário se aplica tanto para o setor privado, como no público. A segurança de dados é um requisito para as empresas de tecnologia. Uma vez que os dados estão interconectados, a segurança digital deve ser garantida em todas as pontas, de forma que a sinergia entre empresas não seja comprometida. Mas qual é o papel da estratégia nacional nesse tópico?

Quando falamos do papel do Estado, voltamos a usar o modelo sugerido pelo Banco Mundial, no qual coloca como variável de uma estratégia de desenvolvimento bem-sucedida, a necessidade da articulação entre o Estado e o setor privado e também entre Estados nacionais. Podemos exemplificar essa articulação em alguns pontos essenciais como o papel do Estado, os acordos comerciais e a regulamentação institucional. O papel do Estado é essencial como papel regulador do mercado, o qual deve garantir estabilidade e redução de incertezas no mercado. A segurança digital, por sua vez, pode ser considerada uma das grandes responsáveis de gerar incertezas na era da indústria 4.0. Grande parte das multinacionais já foram alvos de hackeamento, assim como os governos - acesso a informações privilegiadas que possam causar incertezas é o pano de fundo da maioria dos casos. E por isso, é de extrema importância que, os governos locais garantam a segurança digital para o desenvolvimento de empresas na área da tecnologia.

Além das garantias sobre segurança da informação, a estratégia desenvolvimentista deve abordar políticas direcionadas ao fim das restrições ao comércio, isso é, se abrirem para se inserir, baseada nas vantagens relativas, nas CGVs. Essa inserção causaria assim uma conexão entre Pequenas e Médias Empresas (PMEs) nacionais com as grandes empresas das CGVs numa relação de protocooperação onde as pequenas empresas suportam com informações e capacitação as grandes empresas que, por sua vez, engajam essas PMEs como fornecedores nacionais. Contudo, esse engajamento só é possível se a infraestrutura necessária para essa ascensão estrutural for estabelecida - isso é, planejamento e implementação de recursos necessários como terra, água, saneamento básico, definição de matriz energética e telecomunicações, as quais devem estar disponíveis ininterruptamente, com barreiras

regulatórias minimizadas para gerar conectividade contínua. O investimento em infraestrutura muitas vezes tem um tempo de maturação muito longo e exige altos volumes de capital e, por isso, muitas vezes deve ser coordenado pelo Estado. Contudo, dado o perfil mais liberal que, nega assim, a interferência do Estado na economia, a proposta do Banco Mundial é que essa captação de recursos seja feita de forma “natural” no mercado. Algumas experiências passadas, contudo, que utilizaram da estratégia proveniente das zonas econômicas especiais (ZEE) para criar ilhas de excelência, não tiveram sucesso por não conseguirem atrair capitais suficientes, enquanto apenas algumas regiões, como a China e o Panamá, sucederam nesse modelo.

Um ponto crucial dentro da estratégia de articulação entre Estados nacionais é se há resultados mais significativos se os acordos comerciais forem tratados entre economias em desenvolvimento e não entre estados em diferentes etapas de desenvolvimento. Na visão do Banco Mundial, esses acordos entre países em desenvolvimento podem ser mais efetivos se realizados entre as negociações tradicionais de desenvolvimento, desde que não haja medidas protecionistas unilaterais. Contudo, diante do cenário de preocupação com o fluxo de dados e expansão internacional das empresas digitais, é possível observar governos desenvolvidos recorrendo a leis sobre a localização de dados para limitar a mobilidade transfronteiriça dos dados, aplicando regras mais rígidas - medidas nas quais vão no caminho contrário do proposto via integração internacional.

5. Proposta de incentivos a empresas do setor automotivo considerando os principais gargalos e desafios na introdução de veículos elétricos no Brasil

Para compreender os desafios e impactos da implementação dos veículos elétricos, é importante analisar o contexto global como um todo e as mudanças que o que alguns chamam de quarta revolução industrial, vêm ocorrendo. Para Klaus Schwab (2018), CEO do World Economic Forum, nós estamos vivendo a quarta revolução industrial, um mundo no qual indivíduos se movem entre o mundo digital e o mundo *offline* via tecnologias conectadas. Apesar de cada revolução industrial ser muitas vezes considerada eventos separados, juntos eles podem ser melhor compreendidos como uma série de eventos construídos sobre inovações da revolução anterior. Schwab descreve esse fenômeno como uma revolução, dada a velocidade e o tamanho das mudanças que as novas tecnologias e organizações empresariais apresentam nos conceitos de poder, riqueza e conhecimento. Com isso, para Schwab, se trata de uma quarta revolução e não uma continuação da terceira dada sua velocidade, pois essa mudança de paradigmas evolui exponencialmente, ao invés de linearmente como as revoluções anteriores. Além dessas características, ainda abrange todos os setores em todos os países, transformando assim, sistemas inteiros de produção, administração e de governança.

Para dar embasamento à sua teoria, Schwab trás uma comparação de similaridades entre a quarta revolução industrial e as cinco eras da civilização, traçado por Steven Covey em seu livro *Habit* (2011, 12-17):

- 1) Produtividade de cada era aumenta 50x em comparação à anterior;
- 2) Cada era destrói muitos trabalhos presentes na era anterior;
- 3) As 3 primeiras eras produziam maioria dos bens e serviços com o corpo; as duas últimas, com a mente. Isso vai de encontro com os objetivos de aumento de eficiência das empresas, além dos limitantes funcionais. Os principais ativos e *drivers* da era industrial eram máquinas e capitais - pessoas eram necessárias, mas substituíveis. Na quarta revolução industrial, o grande desafio das empresas é motivar seus trabalhadores a liberar seus potenciais humanos.

Já para Diegues e Roselino (2019), as diversas formas de internacionalização das atividades e serviços intensivos em tecnologia - especificamente serviços voltados às tecnologias de informação e comunicação (TIC) são transformações produtivas iniciadas no último quartil do século XX que tiveram como principal vetor o desenvolvimento do complexo eletrônico. A partir disso temos um novo paradigma tecno-produtivo no qual trás em seu núcleo a dinâmica inovativa e o desenvolvimento de atividades relacionadas às TIC. A

crescente importância econômica desses componentes intangíveis que percorrem os mais diversos segmentos do complexo eletrônico é caracterizada por Coutinho (1992, p. 70) como “(...) a aplicação (ou criação por meio dela) da microeletrônica de uma base tecnológica comum a uma constelação de produtos e serviços (que) agrupou um conjunto de indústrias, setores e segmentos na forma de um ‘complexo eletrônico’, densamente intra-articulado pela convergência intrínseca da tecnologia da informação”. Este novo complexo se torna, por sua vez, o “centro da gravidade” na geração do valor econômico (Ernest, 2000).

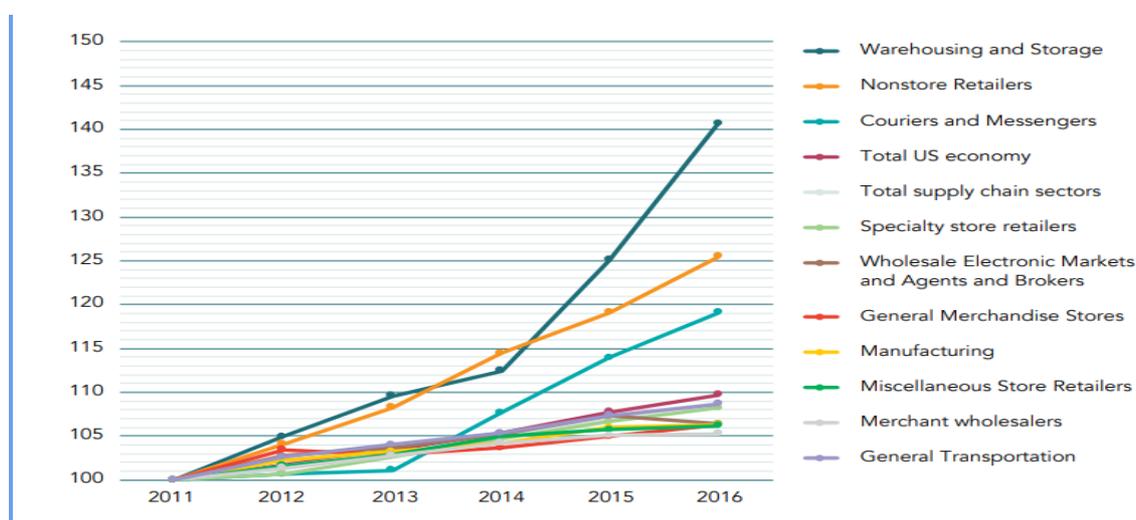
Para Athereye (2005), os serviços de informática associados aos desenvolvimentos de software ditam um novo paradigma produtivo ao desempenharem papel similar aos de bens de capital do paradigma anterior uma vez que “(...) produz um bem intermediário central na nova economia digital” (Atheyere, 2005, p.7). Enquanto que, para Zysman (2010) esse novo paradigma é o que chama de “Revolução Algorítmica” uma vez que “Modelos de negócios tradicionais podem se tornar mais produtivos, estendidos com ferramentas de TIC. E modelos de negócios totalmente novos podem ser criados, oferecendo serviços antes impossíveis a qualquer preço. A revolução algorítmica nos serviços está mudando profundamente a forma como as empresas agregam valor” (Zysman, 2010, p.2). Exemplos desse fenômeno são empresas como a Netflix, que iniciou um modelo de negócio de entretenimento a custos recordes; ou mesmo a Uber que permite locomoção confortável aos usuários a um preço muito mais acessível que os táxis. Além disso, vale ressaltar que essa mudança sistemática das empresas é ainda mais profunda, como apontou Tom Goodwin (xxxx, p. 28-29) “O Uber, maior empresa de táxis do mundo, não possui um veículo se quer. O Facebook, o proprietário de mídia popular do mundo, não cria nenhum conteúdo. Alibaba, o varejista mais valioso, não possui estoques. E o Airbnb, o maior provedor de hospedagem do mundo, não possui sequer um imóvel”. O valor agregado dessas empresas que estão no topo do *ranking* empresarial global, hoje, oferecem especificamente serviços voltados às tecnologias de informação e comunicação (TIC).

Com base nesse novo contexto global, Schwab acredita que a resposta para esse evento inédito que temos vivenciado deve ser conduzida de forma integrada e compreensiva, envolvendo os setores públicos e privados, da academia à sociedade civil. Para o autor:

“Technological innovation will also lead to a supply-side miracle, with long-term gains in efficiency and productivity. Transportation and communication costs will drop, logistics and global supply chains will become more effective and the cost of trade will diminish, all of which will open new markets and drive economic growth” (Schwab, 2015).

Um exemplo concreto disso são os próprios EVs. Esses veículos são menos complexos, uma vez que possuem menos componentes, como filtros de óleo e combustível, velas, cabos de ignição e entre outros componentes do sistema a combustão. As diversas *startups* que estão aparecendo no mercado provendo serviços como pesquisa de preço de diversas fontes dão mais transparência para os usuários. E-commerce e marketplaces diminuindo custos logísticos e de transporte uma vez que essas empresas modulares tem grande capilaridade logística, diminuindo os custos e muitas vezes concentrando em um só local os estoques. Essa tendência de aumento de empresas no chamado Supply Chain 4.0, gera um impacto direto na distribuição de vagas de emprego por setor, conforme pode ser observado no gráfico a seguir.

Gráfico 8 – Distribuição de vagas de emprego por setor em nível mundial



Fonte: Relatório global de desenvolvimento da cadeia de valor 2019 - Organização Mundial do Comércio, Banco Mundial, OECD

Por outro lado, essa revolução pode gerar efeitos colaterais de cunho social, uma vez que pode gerar grandes desigualdades, particularmente no potencial disruptivo no mercado de trabalho. A partir da reposição líquida de trabalhadores por máquinas em diversos setores. Os mais afetados, de acordo com o relatório do Fórum Econômico Mundial, de 2018, são os administrativos operacionais, vendas, operações financeiras e de negócio e de preparação de alimentos. O fato de os setores mais afetados serem também o que demandam menos pré-requisitos, uma vez que são enquadrados como funções operacionais, que não exigem tanta base intelectual, gera um aumento ainda maior do gap entre retorno de capital e retorno do trabalho. No caso das tecnologias digitais, não teremos nem mão de obra nem capital ordinário. No futuro, cada vez mais, devemos valorizar mais os talentos do que o capital, uma

vez que aquele será um fator mais crucial na produção. A consequência disso é que teremos um mercado de trabalho ainda mais segregado, uma vez que os trabalhos menos qualificados e, assim, de menores salários, serão substituídos por máquinas e os mais qualificados serão ainda mais complexos, exigindo habilidades ainda mais elaboradas. Este cenário aumenta ainda mais a dicotomia e tende a gerar, assim, aumento nas tensões sociais.

Table 3: Snapshot of projected US job changes by 2026

Job family	Gender breakdown in 2016 (%)		Employment (thousands)		Change in employment 2016–2026 (thousands)		
	Female	Male	2016	2026	Increasing jobs	Declining jobs	Net change
Office and Administrative	66	34	22,621	22,730	751	-642	109
Sales and Related	46	54	15,088	15,523	477	-41	436
Business and Financial Operations	51	49	13,578	14,865	1,334	-48	1,286
Food Preparation and Serving	52	48	13,436	14,688	1,286	-33	1,252
Healthcare Practitioners and Technical	66	34	12,917	15,246	2,339	-10	2,330
Transportation	16	84	10,266	10,907	650	-9	640
Production	25	75	8,926	8,558	142	-511	-368
Education, Training and Library	62	38	8,528	9,317	793	-4	789
Construction and Extraction	3	97	7,157	7,955	800	-1	799
Personal Care and Service	55	45	6,352	7,516	1,165	-1	1,164
Installation, Maintenance and Repair	5	95	5,729	6,111	411	-29	383
Building and Grounds Cleaning and Maintenance	24	76	5,619	6,109	490	0	490
Computer and Mathematical	29	71	4,765	5,402	660	-23	638
Protective Service	24	76	3,419	3,573	196	-42	154
Architecture and Engineering	16	84	2,689	2,886	197	0	197
Community and Social Service	61	39	2,523	2,866	346	-3	343
Arts, Design, Entertainment, Sports and Media	40	60	2,421	2,567	172	-26	146
Farming, Fishing and Forestry	20	80	2,045	2,113	81	-14	67
Life, Physical and Social Science	42	58	1,311	1,436	125	0	125
Total	37%	63%	149,389	160,368	12,416	-1,437	10,979

Source data: US Bureau of Labor Statistics.

Fonte: WORLD ECONOMIC FORUM. Towards a Reskilling Revolution,. A Future of Jobs for All, 2018.

Outro risco que essa quarta revolução social traz consigo e que têm gerado altíssimos gastos corporativos é o tema de segurança digital. Um nível mais alto de alerta é ativado quando nosso cotidiano se torna extensivamente conectado com diversos dispositivos - desde os nossos celulares até nossos carros e nossa casa. De smartphones, estamos entrando na era das smart houses e smart cities, onde tudo está conectado, aumentando, assim, sua vulnerabilidade. Com isso, se há uma falha de segurança em alguma das pontas, compromete-se todo o sistema, uma vez que este é completamente interligado. Além disso, há ainda um risco intrínseco ao próprio sistema. Fontes de risco não intencional podem incluir erros

promulgados por funcionários ou pelo próprio sistema, como tempestades que causam interrupções na conectividade. Além dos riscos técnicos apresentados, há ainda o risco social gerado pelo impacto da Inteligência Artificial (AI), automação e engenharia genética. Este risco apresenta uma natureza ética do debate. Com o desenvolvimento da robótica, temos máquinas com inteligência artificial as quais serão mais inteligentes e autônomas. Contudo, como podemos traçar e regular os limites éticos dessas máquinas? Com base em quais padrões morais? A situação se torna complexa uma vez que não há um consenso, dado que os valores morais diferem para cada indivíduo para cada cultura, região, crenças e ideologias.

Apesar dos riscos apresentados, há também diversas oportunidades que vêm com a quarta revolução industrial, como: (i) menores barreiras entre inovadores e mercado; (ii) papel mais ativo da IA; (iii) integração/fusão entre diferentes técnicas e domínios; (iv) melhorar a qualidade de robótica; (v) vida conectada (internet). Um exemplo do impacto positivo das menores barreiras de entrada é a impressão 3D. Esta tecnologia permite que protótipos sejam realizados por empreendedores de forma a testar, de forma mais rápida e barata, seus projetos. Essa ferramenta facilita a entrada de novos *players* ao diminuir as barreiras de entrada. Um exemplo disso são as numerosas *startups* que surgiram nos últimos anos. Já em relação ao aumento das tendências em IA, sistemas artificiais que resolvem problemas racionais complexos ameaçam diversos tipos de trabalho, como já mencionado. Por outro lado, gera novas vias de crescimento econômico. Segundo Manyika (2017), permitem às empresas salvarem bilhões de dólares e a criarem novos postos de trabalho.

Já em relação à integração das tecnologias inovadoras, estas resultam numa linha tênue entre diferentes disciplinas científicas e técnicas. Um exemplo de nação que partiu na frente em relação a este tópico é a Finlândia, que já a implementou em sua capital Helsinque e alguns outros municípios do país. Uma reforma curricular adotada pela Agência Nacional Finlandesa para a Educação em 2016 estabeleceu objetivos-chave. Os alunos estabelecem metas, resolvem problemas e avaliam seu aprendizado com base em metas estabelecidas. A cada ano letivo, todas as escolas devem ter pelo menos um tema, projeto ou curso claramente definido que combine o conteúdo de diferentes disciplinas e lide com o tema selecionado na perspectiva de vários assuntos. Estes são chamados módulos de aprendizagem multidisciplinar. “Os alunos são regularmente solicitados a mostrar sua capacidade de lidar com questões variadas, como política, violência, guerra, ética nos esportes, sexo, emprego, dieta e música popular. Muitas vezes, as tarefas exigem conhecimentos e habilidades multidisciplinares”, disse Pasi Sahlberg, ex-diretor geral do Ministério da Educação da Finlândia, ao Washington Post.

Quando o assunto é a melhora da qualidade tecnológica da robótica, Diegues e Roselino acreditam que o desenvolvimento da robótica potencialmente irá melhorar nossa qualidade de vida, assim como levará a criação de novos postos de trabalho, melhorar a qualidade dos já existentes e prover mais tempo para as pessoas possam focar no que gostam/querem fazer. Além disso, a Internet das Coisas (IoT, em inglês) conectará tudo, além de apenas M2M como temos predominantemente hoje. “By 2010 the number of computers on the internet had surpassed the number of people on earth” (Gershenfeld and Vasseur 2014,28).

Este novo paradigma de organização industrial na qual a quarta revolução industrial se encaixa, dominante no século XXI e nascido na indústria eletrônica norte-americana, o chamado Global Flagship Networks é um conjunto amplo de atividades manufatureiras organizadas em sistemas modulares, com o princípio da digitalização das informações, com liberalização econômica e financeira que reduzem significativamente as restrições à movimentação do capital e da produção. Dessa forma, a empresa organizada a partir da lógica de rede torna-se o principal agente da transnacionalização do capital (Chesnais, 1996). Nesta nova rede, chamada de Global Flagship Networks, as estratégias de produção e inovação - e em última instância, a própria valorização de capital em si - são formuladas em escala global e envolvem a interação sistemática dos diversos elos da rede. As grandes corporações, por sua vez, tendem a se especializar nas atividades responsáveis pela criação de assimetrias competitivas em seus respectivos setores de atuação - como são os casos de montadoras produzindo suas próprias baterias e investindo em plantas de produção de componentes elétricos e eletrônicos, como é o caso da Delphi. Em contrapartida, essas mesmas empresas tendem a dispersar, em escala global, outras atividades hierarquicamente menos nobres. Estas atividades, como codificação/programação de testes e atividades de manutenção e suporte técnico das TIC tendem a serem alvos de *outsourcing*. Assim, as empresas capitânicas mantêm *in house* as atividades mais nobres, intensivas em conhecimento, com alto potencial inovativo e importantes elementos diferenciados e fontes de assimetria competitiva (Diegues e Roselino, 2019, p.5).

Essas assimetrias competitivas tendem a gerar uma concentração dos mercados em alguns segmentos. Esta tendência, contudo, varia entre segmentos, coexistindo entre esta concentração de mercado e significativas oportunidades para o sucesso de novos entrantes. Esta nova estrutura de mercado gera, assim, um paradoxo devido à heterogeneidade que caracteriza a natureza dessas atividades e que resulta, assim, em diferentes padrões de concorrência (Roselino, 2006). Podemos analisar duas diferentes tendências intrínsecas às

economias de rede: a tendência centrípeta - a qual se encontra em economias que tendem a gerar externalidades positivas crescentes, isto é, novos usuários e produtos de soluções complementares que beneficiam, assim, todos os segmentos relacionados a determinado sistema. E a tendência centrífuga, a qual, em geral, está presente em mercados menos concentrados, associada assim, à redução de barreiras e, conseqüentemente, à entrada de novos *players*. Além disso, há uma constante criação de novas funcionalidades, muitas vezes associadas às externalidades de rede criadas aos sistemas já consolidados. A intensidade na qual cada tendência se apresenta, depende em grande parte da estabilidade dos padrões tecnológicos vigentes e da generalidade das respectivas tecnologias que caracterizam cada segmento deste paradigma. Desta forma, a tendência centrípeta é dominante nos períodos de estabilidade dos padrões tecnológicos e em setores que apresentam soluções com alto grau de generalidade, enquanto a tendência centrífuga é dominante em períodos de maior instabilidade e rupturas nestes padrões e em segmentos nos quais as tecnologias são bastante específicas.

5.1. Impacto Rota 2030

Assim, para auxiliar essa transição que estamos vivenciando, precisamos redefinir o conceito de governança, isto é, o processo por meio do qual atores estatais e não estatais interagem para conceber e implementar políticas públicas no âmbito de um dado conjunto de regras informais que moldam e são moldadas pelo poder. A Rota 2030 é um exemplo ideal de conceito de governança e, até por isso, houve tanta demora e dificuldade de lançar o programa de incentivo para o setor automotivo. Por esse motivo que houve tamanha demora, uma vez que havia desentendimentos entre o Ministério da Indústria (MDIC), onde o programa foi gestado, e o Ministério da Fazenda, que interditou o projeto até o último minuto, por resistir em conceder incentivos fiscais à indústria automotiva.

Em linhas gerais, o programa contém três medidas principais: estabelecimento de requisitos mínimos de eficiência energética e segurança veicular que todos os veículos deverão ter para serem vendidos no Brasil; criação de contribuição financeira equivalente a 2% do valor de peças hoje importadas em regime de ex-tarifário, que será destinada a fundos de desenvolvimento da cadeia de autopeças; e por fim o agora chamado “Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e ao Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores – Rota 2030 Mobilidade e Logística”, que define as bases para a criação de

metas e incentivos a atividades de pesquisa e desenvolvimento para empresas do setor, montadoras ou autopeças.

O programa, que foi oficializado por meio de uma Medida Provisória (MP) no dia cinco de julho de 2018 pelo então mandatário-tampão da República, Michel Temer, contém alguns requisitos obrigatórios, entre eles atender a novas metas de eficiência energética, cronograma de equipamentos de segurança e etiquetagem veicular, tanto de consumo e emissões quanto dos itens de segurança. Além dos requisitos obrigatórios, o programa dará uma meta-bônus para os compromissos obrigatórios de eficiência e segurança, a qual conterà duas faixas de bonificação extra de um a dois pontos de IPI. Quem não cumprir terá as novas metas terá que pagar uma multa de 20% do valor por veículo vendido (AUTODATA, ago. 2018).

De acordo com a edição especial da revista automotiva Autodata sobre o Rota 2030, a empresa que se inscrever no programa que se habilitar terá que aplicar parte de seu faturamento a um índice que subirá ano a ano dentro de cada ciclo de cinco anos de 0,5% a 1,2%, e receberá como incentivo abatimento de até 10,2% do IRPJ (Imposto sobre a Renda das Pessoas Jurídicas), com base no lucro real, e da CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido). Se a empresa não obtiver lucro no exercício a que teria direito ao desconto pode carregar o benefício pelos anos seguintes à vigência do Rota 2030 – ou seja, ao menos em tese, pelos quinze anos de programa.

O Programa apresenta ainda uma lista de investimentos considerados estratégicos que darão direito a uma dedução adicional de 5,1%: dentre os diversos itens da lista, temos a implementação da Indústria 4.0 e tecnologias de propulsão. Além dos incentivos para investimentos, há medidas para redução das barreiras alfandegárias casada com o financiamento de projetos de desenvolvimento tecnológico da indústria automotiva por instituições de ciência e tecnologia, universidades, organizações de pesquisa e desenvolvimento etc., e terão que ser pré-aprovados por um comitê gestor. As empresas apoiarão projetos específicos, em um funcionamento parecido com o da Lei Rouanet. As alíquotas para importados cairão de 18% ou 16% para 2% - os quais vão integralmente para os projetos de desenvolvimento mencionados. Essas medidas vão ao encontro das medidas sugeridas pelo Banco Mundial mencionadas anteriormente.

A estratégia do governo sobre a direção pretendida fica clara a partir da Rota 2030. O benefício adicional de desconto extra de 2 pontos percentuais do IPI para os híbridos que utilizem tecnologia flex na parte a combustão. A escolha dessa direção afeta negativamente, contudo, no curto prazo, algumas montadoras como a Ford e a BMW - o híbrido Ford Fusion

Hybrid e o i3 e i8 da BMW. Dos temas que ficaram pelo caminho estão linhas de crédito especiais e programas de refinanciamento de dívidas para empresas de autopeças, inspeção veicular obrigatória, renovação de frota, melhorias de infraestrutura, mobilidade urbana – que incluiria tecnologia híbrida e elétrica para o transporte coletivo –, evoluções na rede de concessionárias, reestruturação do sistema tributário automotivo, condições mais favoráveis do Reintegra para as fabricantes de baixo volume (AUTODATA, Agosto, 2018).

Após mais de um ano de discussões, o Rota 2030, programa de desenvolvimento da indústria automotiva nacional que substitui o Inovar-Auto, encerrado no fim de 2017, valendo por mais 15 anos e com revisões a cada 5 anos, inclui as seguintes medidas: lista de requisitos mínimos de eficiência energética (para veículos leves melhora mínima de 11% da média de eficiência energética) e segurança para todos os carros vendidos no País, mas prevê que todas as marcas deverão inscrever seus modelos no Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBVE) do Inmetro, que executa as medições oficiais de consumo e torna os números públicos em etiquetas fixadas nos carros, além de a melhoria de consumo alcançada rodando com 100% de etanol valer um bônus que ajuda as empresas a bater sua meta geral, somado a melhorar os índices de segurança veicular (todos os veículos licenciados deverão adotar, até 2027, novos equipamentos como assistência à direção, como frenagem automática de emergência ou assistente eletrônico para manter o carro na faixa de rolamento). A Toyota investirá R\$ 1 bilhão no Brasil (planta Indaiatuba). Esse foi o primeiro anúncio de investimentos após o lançamento do programa Rota 2030.

Conclusão

Ao longo do trabalho foram apresentadas as diversas tecnologias com potencial de se tornarem o novo carvão ou petróleo das revoluções industriais anteriores. O sucesso ou não dessas tecnologias, contudo, depende de numerosas variáveis que englobam todo o contexto da Indústria 4.0 - desde os incentivos diretos das políticas públicas que deverão estar coordenadas com as empresas privadas para que seus esforços ganhem força e sinergia, uma vez que avancem na mesma direção e em ritmo similar; a toda uma mudança de mentalidade - o chamado no meio corporativo de *mind set* - de toda a população, do mundo corporativo e instituições públicas à sociedade civil.

Essa mudança de *mind set* ocorre de forma lenta no Brasil. O fato de estarmos nos elos menos nobres da cadeia produtiva e diante das dificuldades de avançarmos nestes elos, à medida que os países mais desenvolvidos já iniciaram esse movimento de inovação, investindo em tecnologias inovadoras, como mencionado ao longo do trabalho - tanto dos governos nacionais, quanto das matrizes das empresas, as quais são responsáveis, juntamente com universidades de ponta, por promover essa mudança de *mind set*. Com isso, o atraso tecnológico que já temos hoje se agrava ainda mais à medida que demoramos para realizar as mudanças necessárias, visando tornar o Brasil, assim como outras nações latino-americanas, polos atrativos de tecnologia.

Para isso, precisamos considerar nossas vantagens comparativas, iniciando pelo tamanho do nosso mercado interno e nossas numerosas vantagens geopolíticas e de recursos naturais - não para realizarmos uma desindustrialização que nos reinsira na cadeia produtiva como primário-exportadores, causando danos ambientais internos, enquanto os países desenvolvidos na Europa, América do Norte e Ásia promovem políticas ambientais e promovem uma Economia Verde - mas sim para adquirir os recursos que temos em maior abundância e acesso geográfico e que ao encontro das metas de emissão de gás carbônico do Acordo de Paris, traçadas em 2015. É com isso em mente que o governo brasileiro lançou o programa Rota 2030, após muitas discussões, as quais resultaram em um atraso do lançamento e bastante desconfiança se sairia. Isso porque, o programa de incentivo da indústria automotiva anterior, o InovarAuto, foi considerado um fracasso por muitas das empresas que realizaram altos investimentos e o retorno prometido nem sempre ocorreu.

Essa busca do governo - em conjunto com as instituições mais relevantes do setor, como a Anfavea e a Sindipeças - no sentido de implementar uma cultura da inovação de forma pragmática necessita, contudo, de uma estratégia de desenvolvimento que tenha

sinergia com as estratégias corporativas das empresas mais relevantes do setor. Essa sinergia é essencial, uma vez que, com base nas análises feitas ao longo do trabalho, fica evidente uma redução do volume de mercado conforme os veículos elétricos ganham espaço - dado que apresenta menos componentes - e pela queda na venda de veículos que ocorre nos últimos anos, dada a mudança de *mind set* da geração Y, que busca cada vez mais por alternativas de mobilidade urbana.

Além disso, a acumulação de capital necessária para investimentos cada vez mais altos dadas as tecnologias complexas que a Indústria 4.0 demanda, com a digitalização da economia e a Inteligência Artificial (IA), para citar alguns exemplos, podemos observar as grandes montadoras realizando parcerias que vão desde fusões entre elas, como é o caso da PSA e da FCA, a parcerias das montadoras e sistemistas e até universidades. Além da motivação da força financeira que essas parcerias proporcionam, cabe também considerar a direção e o ritmo que se ganha com tais parcerias. A escolha discutida ao longo do trabalho sobre qual tecnologia é a mais adequada para o mercado brasileiro não envolve apenas o mercado de veículos elétricos, mas outras tendências latentes como investimentos em veículo autônomo e conectividade. O mercado inteiro está em transformação e as empresas já começam a sentir os impactos em sua rentabilidade e faturamento em decréscimo decorrentes da queda de venda de veículos e do mercado global em crise. Para isso, é necessário que as empresas inovem não apenas em seus produtos e serviços, mas também que inove em relação a como a empresa se estrutura, otimizando tarefas e diminuindo seus custos via otimização em logística, armazenamento, velocidade nas tomadas de decisão e em todas as áreas possíveis dentro de uma empresa. Essa orientação tem levado empresas tanto a terceirizar diversas áreas, quanto a promover sinergia com *startups* que, ao se especializarem em certas áreas, possibilitadas pela economia de rede, conseguem criar soluções cada vez mais inovadoras e, ao oferecer tais ideias às grandes corporações, uma vez que estas têm o grande desafio de realizar a mudança, do modelo tradicional de gestão, para uma cultura que aceite o erro e não cobre resultados instantâneos - visão predominante nas *startups* de “*fail fast, learn fast*”.

É importante ressaltar ainda a importância de falar sobre os impactos de fontes de energia consideradas “sujas” por emitir gases nocivos ao meio ambiente para gerar energia elétrica porque são os países que mais emitem CO₂ hoje. Como no argumento do CEO da ZF que o Brasil já não tem as maiores emissões e, por isso, podemos gerar veículos híbridos movidos ao etanol e o elétrico e ainda promover o uso de energia movida a etanol e biodiesel para os países desenvolvidos e grandes emissões de CO₂ em nível mundial. Até 2030, o

número de carros elétricos deve atingir cerca de 140 milhões, 10% da frota total de veículos leves (FGV,2019). Vale ressaltar ainda a relevância da frota de elétricos na América Latina: hoje circulam cerca de 90 milhões de veículos, sendo menos de 10.000 veículos elétricos. Ainda que isso cresça de forma muito acelerada, não temos expectativa que isso chegue nem a 1% da frota total circulante nos próximos 10 anos, de modo que não é algo que vá transformar nosso mercado abruptamente. Diante deste cenário, é de suma importância que nossas propostas de tecnologias e fonte de combustível possam ir ao encontro de mercados como a China e a Europa, as quais possuem grande parte de sua frota eletrificada, com um grande potencial à nossa frente. Contudo, assim como as possibilidades, os desafios são também cada vez maiores, uma vez que devemos fazer uma inversão de capital ainda maior que os países desenvolvidos se quisermos promover, mais uma vez, o etanol como fonte limpa de energia e nos posicionar de forma mais saudável nas cadeias globais de valor e na divisão internacional do trabalho.

Com base no exposto ao longo do trabalho focamos nos impactos da tendência em nível mundial da implementação de veículos elétricos e híbridos, diante da redução de veículos a diesel que ocorre de forma muito forte na Europa no segmento de veículos de passeio. Esse efeito é muito fraco na América Latina, que apresenta baixo número de veículos a passeio a diesel. Na Argentina foi possível observar uma redução de veículos leves a diesel nos últimos anos, porém puxada mais fortemente pela crise local do que por questões ambientais como na Europa. O direcionamento que observamos do mercado, de queda de veículos a diesel em nível mundial, somados ao *boom* de veículos elétricos, principalmente na China e nos EUA, são reflexos de uma tendência de crescimento de veículos elétricos real, mas que ocorrerá de formas diferentes em cada país, pois depende de vários fatores, desde infraestrutura local até políticas de incentivo governamental. Uruguai e Chile, por exemplo, saíram na frente em termos de políticas de incentivo, enquanto no Brasil o uso de etanol acaba inibindo fortes incentivos do governo à eletrificação em massa.

Como discutido anteriormente, além do etanol apresentar emissão quase neutra de CO₂, considerando todo o ciclo de vida desde o plantio da cana até a queima no motor, torna a tecnologia bastante atrativa, além de o Brasil ser um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo. Por esse motivo, o etanol já aparece como uma solução no quesito de emissão de gases de efeito estufa. Além disso, considerando toda a transição, que deverá ser lenta e gradual no Brasil, temos que considerar que as vantagens do etanol vão além da etapa de transição, na forma ainda de combustível para motores a combustão flex, presentes hoje no Brasil. A possibilidade de utilizar essa matéria-prima para as células a combustível é bastante

atraente para este mercado. Contudo, considerando que os investimentos em tecnologias tendem a ser definidos com base no potencial dos maiores mercados, as ações já realizadas pelo Estado de São Paulo no sentido de promover o etanol nos mercados de maior potencial de veículos elétricos, como feito para a China e Europa, mostram como a parceria público-privada é essencial para que o Brasil aproveite esta nova oportunidade de impulso tecnológico e mudança dos padrões produtivos, para promover suas tecnologias e suas vontades, com base em suas vantagens comparativas. Desta forma, o sucesso da estratégia de desenvolvimento regional dependerá do quanto os governantes estarão dispostos a contribuir com outros governos e promover suas vantagens diante de uma competição internacional cada vez mais intensa e complexa.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA. Eficiência Energética Sustentável, 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2019. Janeiro, 2019.

AUTODATA. A minúcia do Rota. Edição especial nº 347. Agosto, 2018.

AUTOMOTIVE BUSINESS. Nasce a Delphi Technologies, nova empresa com foco em powertrain: Negócios 26778. 06/12/2017.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Setorial 32, p. 267-310, 2010.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). BNDES Setorial 33, p. 207-224. III Congresso Brasileiro de Energia: Novembro, 2010.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). BNDES Setorial 42, p. 167-216. Panorama da indústria de autopeças no Brasil: características, conjuntura, tendências tecnológicas e possibilidades de atuação do BNDES, 2016.

BOSTON CONSULTING GROUP (BCG). Batteries for Electric Cars - Challenge, Opportunities, and the Outlook to 2020. Boston, 2010.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV) e ACCENTURE. Cadernos FGV Energia. Carros Elétricos. Nº 7. Maio, 2017

KEIENBURG, Georg. GAUGER, Christoph. KENGELBACH, Jens. DEGEN, Dominique. BRUCKNER, Pascal. Estudo Auto Tech BCG. Agosto, 2019.

KPMG. Global Automotive Executive Survey 2017, 2017.

KPMG. Global Automotive Executive Survey 2019, 2019

MONTGOMERY, C.A. & PORTER, M. Estratégia: A Busca da Vantagem Competitiva. Rio de Janeiro: Campus.

NEUMANNA, Donald. DE SANTA-EULALIAB, Luis Antonio. YOSHINOC, Rui Tadashi. KLASSEND, Jörg. Um novo modelo de previsão de demanda para inovações radicais: Produção versão no. 24, n. 3, p. 605-617, Julho/Setembro, 2014.

PEREZ, C. (2002). Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Edward Elgar, Cheltenham, UK. p. 1-15.

PENROSE, E. (1959). A Teoria do Crescimento da Firma. Coleção Clássicos da Inovação. Campinas-SP: Ed. Unicamp, 2006.

POSSAS, S. (1995). Notas acerca da Lógica de Decisão e de Expansão da Firma Capitalista. Texto para Discussão n. 52. Campinas: IE/UNICAMP.

PRAHALAD, C.K. & HAMEL, G.A. (1998). Competência Essencial da Corporação.

SILVA, Camila Cássia da. Toyota Mirai: conheça o carro elétrico movido a células de hidrogênio. Mobilidade Urbana/Smart Cities. tecmundo.com.br. 16/12/2006.

SINDIPEÇAS, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. ABIPEÇAS, Associação Brasileira da Indústria de Autopeças. Desempenho do Setor de Autopeças 2017: São Paulo, 2018.

VEDANA, Julio Cesar. A realidade do carro a etanol e o puro elétrico. Novacana.com. 25/01/2018.

VEDANA, Julio Cesar. A insegurança do setor de etanol com o desenvolvimento do carro elétrico. Novacana.com. 20/11/2018.

VEDANA, Julio Cesar. Divisão do mercado entre etanol e gasolina pode impulsionar carro elétrico no Brasil. Novacana.com. 17/04/2019.

VELLOSO, João Paulo dos Reis. Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil versão preliminar: Rio de Janeiro: INAE - Instituto Nacional de Altos Estudos, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Carro do futuro será movido a célula de combustível. Notícias. 08/02/2017.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. Global report on human settlements 2011 - Cities and Climate Change. 2011.

Links

<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/27620/audi-e-hyundai-vaio-desenvolver-celula-de-combustivel-para-eletricos>

<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/economia-verde.htm>

<https://www.delphi.com/newsroom/press-release/significant-investment-new-poland-plant-reinforces-delphi-technologies>

<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/27698/governo-libera-rota-2030-mas-da-menos-que-fabricantes-queriam>

<http://sustainableskies.org/hondas-fluoride-battery/>

<https://hondanews.com/en-US/releases/honda-research-institute-and-university-researchers-develop-breakthrough-battery-chemistry>

<https://www.benchmarkminerals.com/who-is-winning-the-global-lithium-ion-battery-arms-race/>

<https://m.pulsenews.co.kr/view.php?year=2019&no=203591>

<https://www.noticiasautomotivas.com.br/por-que-nao-temos-automoveis-movidos-a-diesel-no-brasil/amp/>

<https://www.uol.com.br/carros/noticias/bloomberg/2019/04/19/maior-fabricante-de-carros-eletricos-do-mundo-em-nada-se-parece-com-a-tesla.amp.htm>

<https://www.pv-magazine.com/2019/09/30/new-aluminum-batteries-for-renewables-storage/>

<https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/explosions-that-save-lives-200641.html>

<https://www.forbes.com/sites/edgarsten/2019/10/01/small-explosions-aimed-at-defusing-ev-post-crash-safety-issues/#2d7178a23319>

<https://www.m.brasilecola.uol.com.br/amp/quimica/biodiesel-no-brasil.htm>

<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>

<https://www.statista.com/statistics/235323/lithium-batteries-top-manufacturers/>

<https://www.tecmundo.com.br/notebook/2827-baterias-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-elas.htm>

<https://europe.autonews.com/suppliers/platinum-giant-wants-create-new-battery-replace-cobalt-nickel-demand>

<https://autoassembly.mckinsey.com/article/the-potential-impact-of-electric-vehicles-on-global-energy-systems>

<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/27698/governo-libera-rota-2030-mas-da-menos-que-fabricantes-queriam>

<http://www.mdic.gov.br/index.php/noticias/3597-rota-2030-montadora-anuncia-investimentos-de-r-1-bilhao-no-brasil>

<http://industriatividade.com.br/o-inevitavel-movimento-de-inovacao/>

<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/inseguranca-setor-etanol-crescimento-carro-eletrico-201118>

<http://www.unica.com.br/noticia/38108671920317494047/para-fiat-e-mercedes-benz-por-cento2C-carros-movidos-a-etanol-sao-melhores-do-que-eletricos-e-hibridos/>

<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/inseguranca-setor-etanol-crescimento-carro-eletrico-201118>

<https://infopetro.wordpress.com/2013/11/11/o-carro-do-futuro-i-alternativas-e-desafios/>

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292008000200005

<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/divisao-mercado-etanol-gasolina-impulsionar-carro-eletrico-brasil-140319>

<http://ipea.gov.br/radar/temas/industria/308-radar-n-07-etanol-e-veiculos-eletricos-via-de-mao-unica-ou-dupla>

<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/inseguranca-setor-etanol-crescimento-carro-eletrico-201118>

<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAihMAA/biodiesel-x-eletricidade>

<https://g1.globo.com/carros/carros-eletricos-e-hibridos/noticia/2019/05/09/brasil-pode-produzir-tecnologia-para-carros-hibridos-nos-proximos-anos-dizem-autopecas.ghtml>

<https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2019/04/26/unicamp-e-nissan-assinam-convenio-para-estudar-uso-do-bioetanol-em-carros-eletricos.ghtml>

<https://carros.uol.com.br/reportagens-especiais/sergio-habib-presidente-da-jac-motors/index.htm>

<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/os-pros-e-contras-do-carro-eletrico/>

<https://oglobo.globo.com/economia/gas-pode-ser-alternativa-ao-diesel-para-caminhoes-diz-presidente-do-bndes-23601142>

<http://www.automotivebusiness.com.br/inovacao/378/neosolar-e-grupo-moura-vao-instalar-carregadores-de-veiculos-eletricos>

<https://carros.uol.com.br/noticias/bloomberg/2019/02/04/veiculos-movidos-a-gnv-podem-ser-obstaculo-para-carros-eletricos.htm>

<http://news.mit.edu/2019/electric-hybrid-heavy-duty-trucks-0409>

<https://insideevs.com/news/343164/vw-all-our-electric-car-platforms-are-yours-opens-up-meb-ev-to-all/>

<https://infomoto.blogosfera.uol.com.br/2019/02/04/scooter-eletrico-compartilhado-e-realidade-em-sp-e-custa-r-590-conheca/>

<http://sciencevibe.com/2018/03/10/this-car-runs-for-100-years-without-refuelling-the-thorium-car/>

<https://br.reuters.com/article/dassaultuk/idBRKCN1ND2SF-OBRIN>

<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,proibicao-de-venda-de-carro-com-combustivel-fossil-avanca-no-senado,70002550230>

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000400018

<https://www.novacana.com/n/frases-graficos/infografico-custo-abastecer-carro-eletrico-etanol-gasolina-200218>

<https://uk.reuters.com/article/us-platinum-week-bosch-fuelcells-exclusi/exclusive-bosch-goes-for-platinum-light-fuel-cells-idUKKCN1SJ0FG>

<https://www.greencarcongress.com/2019/04/20190420-cesifo.html>

<https://www.dw.com/en/ifo-study-casts-doubt-on-electric-vehicles-climate-saving-credentials/a-48460328>

<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2019/06/promocao-etanol-ameaca-avanco-dos-carros-eletricos-brasil/36359>

<https://www.comexdobrasil.com/unica-vai-a-china-promover-o-etanol-em-missao-liderada-pelo-governador-joao-doria/>

http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/29521/brasil-nao-precisa-eletrificar-frota-diz-ceo-da-zf?utm_campaign=newsletter_diaria_1172019&utm_medium=email&utm_source=RD+Station

<https://www.fastcompany.com/90374954/how-ge-invested-in-fossil-fuels-and-missed-the-opportunity-to-be-a-clean-energy-giant>

https://www-bbc-co-uk.cdn.ampproject.org/v/s/www.bbc.co.uk/news/amp/business-48965315?amp_js_v=0.1#referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=From%20%251%24s

<https://www.bbc.com/news/business-47376677>

https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/2019_Hydrogen%20Europe%20Vision%20on%20the%20role%20of%20Hydrogen%20and%20Gas%20Infrastructure.pdf

https://www-forbes-com.cdn.ampproject.org/v/s/www.forbes.com/sites/jeffmcmahon/2019/08/02/why-energy-storage-is-proving-even-more-disruptive-than-cheap-renewables/amp/?amp_js_v=0.1#referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=From%20%251%24s&share=https%3A%2F%2Fwww.forbes.com%2Fsites%2Fjeffmcmahon%2F2019%2F08%2F02%2Fwhy-energy-storage-is-proving-even-more-disruptive-than-cheap-renewables%2F

http://www.ggte.unicamp.br/eam/pluginfile.php/696518/mod_resource/content/1/carlotaperez%20paradigmas.pdf

<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-invests-in-northvolt-ab-5078>

<https://europe.autonews.com/automakers/psa-will-produce-batteries-slovakia-spain>

<https://www.denso.com/us-ca/en/news/news-releases/2019/20190523-g01/>

<https://cn.nikkei.com>

<https://oilprice.com/Alternative-Energy/Biofuels/Why-The-Midwest-Should-Protect-The-Ethanol-Market.html#>

<https://www.delphi.com/newsroom/press-release/significant-investment-new-poland-plant-reinforces-delphi-technologies>

http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/29834/cnh-industrial-vai-se-dividir-em-duas-para-dobrar-o-lucro?utm_campaign=newsletter_diaria_492019&utm_medium=email&utm_source=RD+Station

<https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/2018/11/12/por-que-o-brasil-tem-uma-das-energias-mais-limpas-do-mundo.ghtml>

<https://europe.autonews.com/automakers/psa-will-produce-batteries-slovakia-spain>

<https://www.delphi.com/newsroom/press-release/significant-investment-new-poland-plant-reinforces-delphi-technologies>

<https://www.brasilagro.com.br/conteudo/supercarro-eletrico-de-800-cv-com-celula-de-combustivel-de-metanol-.html>

<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/governo-assina-rota-2030-e-abre-portas-para-hibridos-e-eletricos-nacionais/>

<https://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

http://www.automotivebusiness.com.br/abinteligencia/pdf/AEA_EficienciaEnergeticaSustentavel.pdf

https://automotive-institute.kpmg.de/GAES2019/downloads/GAES2019PressConferenceENG_FINAL.PDF