



Diogo Barbosa Moreira Neiva

**Estudo de viabilidade econômica e energética da
substituição da frota da Ambev por caminhões elétricos.**

Projeto de Graduação

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia
Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Sergio Leal Braga

**Rio de Janeiro
Junho de 2019**

Agradecimentos

Agradeço e dedico esse trabalho aos meus pais. Se eu cheguei aonde cheguei foi pelo apoio que eles me dão dentro de casa. Agradeço a eles pelas orações, pelo amor dado não só durante esses anos de faculdade, mas em toda a minha vida e principalmente pela educação pessoal que eles proporcionaram.

Agradeço aos meus amigos de infância que nos momentos mais difíceis sempre estavam ao meu lado para tornar tudo mais leve. Agradeço aos meus amigos da faculdade, tivemos muitos momentos bons, mas também passamos por dificuldades, cada um com as suas, mas nunca abandonando uns aos outros.

Agradeço aos professores, não só do departamento de engenharia mecânica, mas a de todos os departamentos. Todos merecem o meu respeito e sou muito grato por terem transmitido esse conhecimento que adquiriram durante esses anos de profissão.

Agradeço ao meu orientador, Sergio Leal Braga, que além de ser meu professor, me acolheu para o desenvolvimento desse trabalho. Sou muito grato pela sua generosidade em ensinar e a pela disponibilidade que tem para os alunos mesmo tendo outros projetos sendo desenvolvidos.

Agradeço a todos que demonstraram carinho e incentivo à minha carreira profissional.

Resumo

A responsabilidade com o meio ambiente se torna cada vez mais necessária para o crescimento sustentável das grandes cidades tanto no caráter ambiental como no econômico e social. Este trabalho consiste em fazer um estudo de viabilidade econômica e energética do uso de caminhões elétricos para a distribuição de produtos em áreas urbanas. A proposta da Ambev junto com a Volkswagen de substituição de veículos convencionais para os elétricos vai servir de base para as análises apresentadas ao longo do projeto. A metodologia utilizada para chegar a uma conclusão final foi a de comparativos entre os custos fixos e operacionais dos caminhões convencionais com os custos dos caminhões elétricos.

Palavras-chave: Caminhão – Energia – Elétrico

Abstract

The responsibility for the environment becomes increasingly necessary for the sustainable growth of large cities, not just in environmental but social and economic as well. This work consists of making an economic and energetic viability study of the use of electric trucks for the distribution of products in urban areas. Ambev's and Volkswagen proposal to replace conventional trucks by electric will serve as a basis for the analyses presented through the project. The methodology used to reach a conclusion was that of comparing the fixed and operational costs of conventional trucks with the costs of electric trucks.

Key words: Trucks – Energy – Electric

Sumário

1 . Introdução	6
1.1. Motivação	7
1.2. Objetivo	8
1.3. Estrutura do trabalho	8
2 . Veículos de carga convencionais	9
2.1. Frota	9
2.2. Transporte de cargas em meio urbano	11
2.3. Fontes de energia utilizados pelos veículos de carga	12
2.4. Gases do efeito estufa e poluentes atmosféricos	13
3 . Veículos de carga elétricos	14
3.1. Tecnologia dos caminhões elétricos	14
3.2. Sistema elétrico	17
3.3. Baterias	18
3.3.1. Diretrizes	19
3.3.2. Avaliação das diretrizes	20
3.4. Matriz energética nacional	22
3.5. Matriz elétrica nacional	23
4 . Análise da substituição dos veículos convencionais por elétricos	25
4.1. 1º Cenário	27
4.2. 2º Cenário	30
4.3. 3º Cenário	32
4.4. 4º Cenário	34
4.5. 5º Cenário	36
4.6. 6º Cenário	37
5 . Conclusão	40

1. Introdução

Com o passar dos anos, o avanço tecnológico vem proporcionando diversas mudanças no cenário mundial. Nas últimas décadas muito se discutiu em relação ao aquecimento global, o famigerado Efeito Estufa passou de um indispensável mecanismo natural para um possível sistema desequilibrado, e o único responsável por essa mudança somos nós, os seres-humanos. Para evitar o total descontrole, o mundo passou a atentar para a questão ambiental e buscar alternativas para minimizar as emissões nos diversos setores da economia.

Sob a ótica mundial, o setor de transporte tem importante participação nessas emissões, sendo responsável por 14% do total de Gases do Efeito Estufa (GEE) (IPCC, 2014). A queima de combustíveis fósseis – principalmente o carvão, o gás natural e o petróleo dão origem ao dióxido de carbono (CO_2) que é o principal gás do efeito estufa e referência para os cálculos das emissões dos GEE.

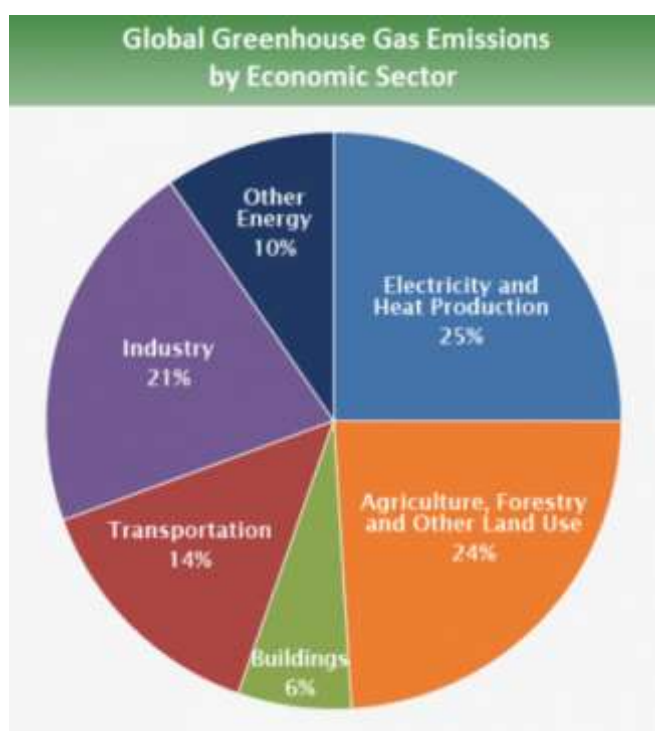


Figura 1 – Emissões de gases do efeito estufa segundo o IPCC (2014)

Fonte: <https://climaparis.blogs.sapo.pt>

Trazendo essa questão para o Brasil, e pensando no consumo dos recursos energéticos brasileiros, o setor de transporte ocupa a segunda posição e é responsável por aproximadamente 32% do consumo total.

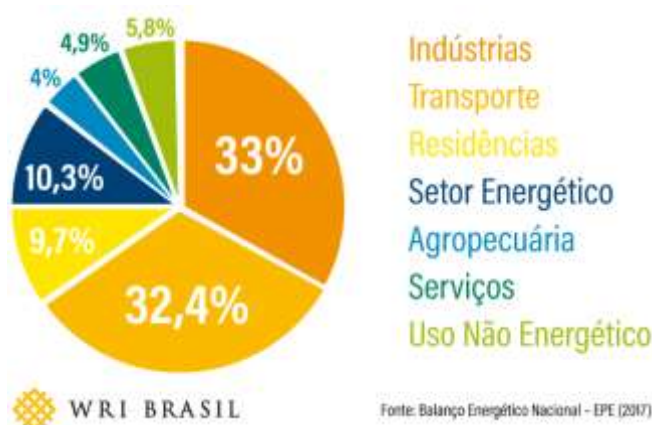


Figura 2 - Consumo nacional de energia

Fonte: <http://ene.gov.br>

Com o objetivo de minimizar os impactos ambientais decorrentes da emissão dos diversos poluentes, estuda-se a utilização de fontes alternativas de energia. Dentre as possíveis alternativas, a energia elétrica não só minimiza os impactos ambientais como assegura benefícios sociais e econômicos. Nesse contexto, a Ambev e a Volkswagen tiveram uma iniciativa e estão tentando substituir parte de sua frota de distribuição urbana por caminhões elétricos. Já se conhecem vários casos, por todo o mundo, onde essa tecnologia de veículos elétricos foi implantada e obteve sucesso, porém, algumas contrapartidas começam a aparecer e não se sabe ao certo se esse projeto daria certo no Brasil.

1.1. Motivação

A responsabilidade com o meio ambiente vem se tornando cada vez mais necessária para o crescimento das cidades tanto no carácter ambiental como no social e econômico. Com a conjuntura mundial atual, onde o agravamento dos impactos ambientais gerados pelos gases de efeito estufa chamou a atenção da sociedade e colocou em jogo o uso de combustíveis fósseis, um estudo da viabilidade para a substituição desses se mostrou interessante. A iniciativa da Ambev juntamente com a Volkswagen

despertou uma curiosidade para saber se o Brasil é capaz de desenvolver esse projeto em larga escala.

1.2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade econômica e energética da substituição de parte da frota da Ambev por caminhões elétricos. Além disso, serão apresentados e avaliados os custos operacionais com os diferentes tipos de alimentação plausíveis para o projeto, avaliar a melhor forma de produção de energia sustentável levando em consideração a matriz energética brasileira e por fim uma comparação entre as consequências ambientais dessa troca.

1.3. Estrutura do trabalho

A estrutura desse trabalho é composta por cinco capítulos que se dividem da seguinte forma.

No capítulo 1 foi abordado uma visão geral do trabalho, explicando o tema escolhido, a motivação para tal escolha e o objetivo final do projeto.

O capítulo 2 compreende o atual transporte de cargas urbanas, no qual são considerados os tipos de veículos, as fontes de energia utilizadas por eles e os impactos ambientais causados por esse meio de transporte.

O capítulo 3 apresenta os veículos elétricos de uma forma geral, não foi falado apenas do veículo escolhido para o estudo da viabilidade. Foi exposta a tecnologia atual, os diferentes tipos de sistemas elétricos e as baterias utilizadas com suas diretrizes de comparação. Além disso, para fins de comparação entre a energia não renovável e renovável, foi abordada a matriz energética e elétrica nacional.

O capítulo 4 aborda os diferentes cenários criados a partir de hipóteses pré-estabelecidas que ao decorrer do desenvolvimento vão se sobressaindo em relação as outras. Ao final do capítulo é feita uma previsão do custo dessas hipóteses em uma data futura com o objetivo de mostrar a viabilidade do sistema a ser implementado.

No capítulo 5 constam as conclusões desta pesquisa, as dificuldades encontradas e as possíveis substituições no cenário do transporte de cargas urbano.

2. Veículos de carga convencionais

Antes de conhecermos os veículos sujeitos a substituição e os novos que serão inseridos, vamos entender o contexto em que eles vão atuar. Este capítulo vai começar apresentando uma visão geral dos veículos de distribuição de carga em centros urbanos e logo em seguida vamos abordar os veículos escolhidos pelas empresas que vão ser as peças principais para o trabalho.

2.1. Frota

As rodovias no Brasil são a base para o transporte, por elas circulam aproximadamente 61% de todas as cargas transportadas no Brasil. Há diversos tipos de caminhões disponíveis no mercado e cada um deles é apropriado para determinado trajeto ou carga. Alguns se adequam melhor a perímetros urbanos e outros são mais recomendados para percursos longos.

A classificação dos caminhões é feita levando em consideração sua quantidade de eixos, tamanho e peso (PBT), a fim de diminuir um pouco esse repertório, vamos levar em consideração apenas o PBT dos diferentes tipos. Segundo essa divisão, os veículos de carga são separados em: Comercial leve (menor que 3,5 toneladas), caminhão semileve (de 3,5 a 6 toneladas), caminhão leve (de 6 a 10 toneladas), caminhão médio (de 10 a 15 toneladas), caminhão semipesados (de 15 a 40 toneladas) e caminhões pesados (acima de 40 toneladas) (MMA, 2013). A figura 3 apresenta os veículos de carga levando em consideração o número de eixos, tamanho e peso. Já a figura 4 apresenta as categorias de maneira mais simplificada, levando em consideração apenas o peso bruto total.







	Tipo de Veículo	Eixos	Comprimento Máximo (metros)	Capacidade máxima de transporte (toneladas)
	3/4 ou VUC (Veículo Urbano de Carga)	2	6,3	3
	Toco	2	14	6
	Truck	3	14	10-14
	Cavalo Mecânico Simples	2	Conforme o semireboque	Conforme o semireboque
	Cavalo Mecânico Trucado	3	Conforme o semireboque	Conforme o semireboque
	Conjunto Carreta 2 eixos + Cavalo Mecânico Simples	4	18-15	33
	Conjunto Carreta 3 eixos + Cavalo Mecânico Simples	6	18-15	41,5
	Bitrem	7	19,86	57
	Rodobrem	9	30	74

Figura 3 - Veículos de carga levando em consideração eixos, tamanho e carga

Fonte: <https://www.gestran.com.br>

Categoria	Peso Bruto Total (PBT)	Motor	Combustível
Comerciais Leves	(PBT \leq 3,5t)	Ciclo Otto	Gasolina C
			Etanol Hidratado <i>Flex Fuel</i>
		Ciclo Diesel	Diesel
Caminhões Semileves	(3,5t < PBT < 6t)	Ciclo Diesel	Diesel
Caminhões Leves	(6t \leq PBT < 10t)	Ciclo Diesel	Diesel
Caminhões Médios	(10t \leq PBT < 15t)	Ciclo Diesel	Diesel
Caminhões Semipesados	(15t \leq PBT < 40t)	Ciclo Diesel	Diesel
Caminhões Pesados	(PBT \geq 40 t)	Ciclo Diesel	Diesel

Figura 4 - Veículos de carga levando em consideração o peso bruto total

Para ser possível a realização de um comparativo e assim obter dados e valores suficientes para se desenvolver um estudo de viabilidade para substituição, escolhi o caminhão convencional mais próximo do modelo elétrico estabelecido pela Ambev. Esse modelo foi o “Truck” que está inserido na categoria de caminhões médios. O principal motivo para escolha desse modelo foi o peso que o veículo está sujeito a transportar.

2.2. Transporte de cargas em meio urbano

Quanto maior o crescimento econômico do país, maior a demanda e pressão sobre os meios de transporte. O sistema de transporte urbano é vital não só para o consumidor como para o desenvolvimento e sucesso das empresas. O custo do frete é um dos elementos – muitas vezes o principal – que compõe o preço das mercadorias, ou seja, o modo como é transportado afeta diretamente os custos logísticos da empresa.

Ao mesmo tempo em que uma atividade é essencial para o desenvolvimento econômico e requer ambiente adequado para operar com eficiência, o transporte de cargas contribui fortemente para a poluição e congestionamentos. Um estudo elaborado em 2014 pela NTC&Logística (Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística) mostra que mais de cem municípios brasileiros já criaram algum tipo restrição ao trânsito de caminhões.

O estudo de viabilidade que vai ser exposto mais a frente vai abordar não só os pontos econômicos como também a questão ambiental e qualidade de vida dentro dos centros urbanos.

2.3. Fontes de energia utilizados pelos veículos de carga

A questão da mobilidade urbana surge como um novo desafio às políticas ambientais e urbanas, num cenário de desenvolvimento social e econômico do país, no qual as crescentes taxas de urbanização, as limitações das políticas públicas e a retomada do crescimento econômico têm implicado num aumento expressivo da frota de veículos dedicados ao transporte de cargas.

A frota nacional de veículos rodoviários é composta quase que totalmente por veículos convencionais. Esses veículos utilizamos motores de combustão interna que são divididos em dois tipos, motores do ciclo Otto, que utilizam gasolina e/ou etanol com ignição por centelhamento e os motores do ciclo Diesel que utilizam o óleo diesel com ignição por compressão. Esses motores, chamados de motores de combustão interna, utilizam os próprios gases como fluidos de trabalho, ou seja, são estes gases que realizam os processos de compressão, aumento de temperatura (queima), expansão e finalmente exaustão. Nessa última parte, enquanto o oxigênio é consumido pela queima do combustível (combustíveis fósseis) há liberação de gases do efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), houve recorde na emissão de CO₂ na atmosfera em 2014 e isso se deve principalmente à queima de combustíveis fósseis.

No Brasil, há uma significativa participação do etanol como combustível para veículos de carga, ele é um biocombustível líquido derivado de biomassa renovável composto basicamente por álcool etílico proveniente da cana-de-açúcar. Porém, por ser um trabalho onde a comparação principal vai ser feita entre veículos semipesados e como mostra na figura 4 que o etanol é utilizado apenas em veículos comerciais leves, descartaremos essa opção de combustível.

2.4. Gases do efeito estufa e poluentes atmosféricos

O efeito estufa, como explicado, é um fenômeno natural que permite a existência de vida na Terra, já que sem ele o calor escaparia, causando um esfriamento que tornaria o planeta inabitável para muitas espécies. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente, são consideradas poluentes todas as substâncias contidas no ar que possam torná-lo nocivo à saúde, causando malefícios à população, à fauna e à flora.

Como dito acima, grande parte da poluição atmosférica é causada pela queima de combustíveis fósseis a queima deles lança monóxido e dióxido de carbono (o famoso gás carbônico) em excesso na atmosfera. Estes dois gases são os grandes causadores do efeito estufa e o aumento de sua concentração na atmosfera é considerado o fator primário do aquecimento global. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, há seis principais gases que influenciam no efeito estufa, são eles: O dióxido de carbono (CO₂), o gás metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), o hexafluoreto de enxofre (SF₆), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs).

Muitos países têm criado metas de controle do efeito estufa, reduzindo a emissão de dióxido de carbono. No caso do Brasil busca-se um controle do desmatamento, principalmente da floresta amazônica, mas o setor de energia, agricultura e indústria ainda não conseguiram controlar essa emissão. A diminuição depende de uma mudança na atitude de empresas, governos e pessoas visto que a tecnologia já alcançou meios para isso acontecer. São necessárias mudanças na cultura para uma educação voltada ao desenvolvimento sustentável.

Ao longo do trabalho, vai ser abordada uma dessas mudanças, para se ter uma noção geral do problema, a substituição de 1600 caminhões convencionais por elétricos vai reduzir em 4.500 toneladas a emissão de CO₂ por mês. Visto que o setor de transporte está entre os principais responsáveis por emissão desses gases, é extremamente importante a conscientização das pessoas e cobrança delas sobre as empresas para que não prejudique mais ainda o padrão de vida da população.

3. Veículos de carga elétricos

No capítulo anterior foram abordadas as fontes energéticas utilizadas pelos caminhões de carga convencionais, os impactos que eles causam e os efeitos ambientais originados por esse tipo de energia. Como dito no final do capítulo, há diversas fontes alternativas de energia e nesse capítulo será apresentada uma delas, a eletricidade. Para melhor compreensão dessa fonte alternativa, e por ser uma tecnologia nova no mercado, o capítulo vai abordar o contexto mundial dos caminhões elétricos para depois discorrer sobre o cenário nacional, especificamente sobre o transporte de cargas urbano.

3.1. Tecnologia dos caminhões elétricos

O principal ponto desse estudo é o veículo elétrico destinado ao transporte de carga urbano, porém essa tecnologia já está presente em diferentes setores, inclusive combinada com outros sistemas. A seguir, alguns exemplos onde se faz uso desse sistema:

➤ Veículo elétrico à célula combustível

A energia para o motor vem de um gás, normalmente o hidrogênio, guardada em um tanque parecido com os de gás natural veicular. A célula combustível é o que converte o hidrogênio em energia. O único subproduto da reação é água: As moléculas de hidrogênio se separam em íons de hidrogênio e elétrons livres. Os prótons de hidrogênio atravessam uma membrana úmida, onde se encontram com moléculas de O₂ que foram quebradas em íons para formar água. A membrana não deixa os elétrons passar e os faz pegar outro caminho: é aí que se forma a corrente elétrica. A imagem a seguir mostra o sistema instalado em um carro, que é praticamente igual ao sistema instalado em caminhões.



Figura 5 - Carro elétrico a célula combustível

Fonte: <https://www.gazetadopovo.com.br/>

➤ **Veículo híbrido**

O veículo híbrido é uma combinação de dois sistemas, um deles opera com um motor a combustão e o outro com um elétrico. O motor elétrico do carro híbrido não é recarregável na tomada como os outros, ele é recarregado com a regeneração de energia através da inércia ou da travagem, trabalhando no sentido para reduzir o consumo médio. Os motores podem funcionar de forma independente ou associada. Geralmente o motor elétrico trabalha como um motor de apoio para o propulsor à combustão, tendo baterias com autonomia reduzida. Quando o híbrido utiliza a energia gerada para apoiar o motor à combustão ele reduz o consumo e emissões.

➤ **Híbrido plug-in**

Os híbridos plug-ins são os híbridos que possuem cabo para recarregar na tomada, tendo assim a possibilidade de recarregar suas baterias na corrente. O híbrido plug-in assim como o híbrido conta com um motor à combustão e outro elétrico, porém as suas baterias têm maior capacidade de carga.

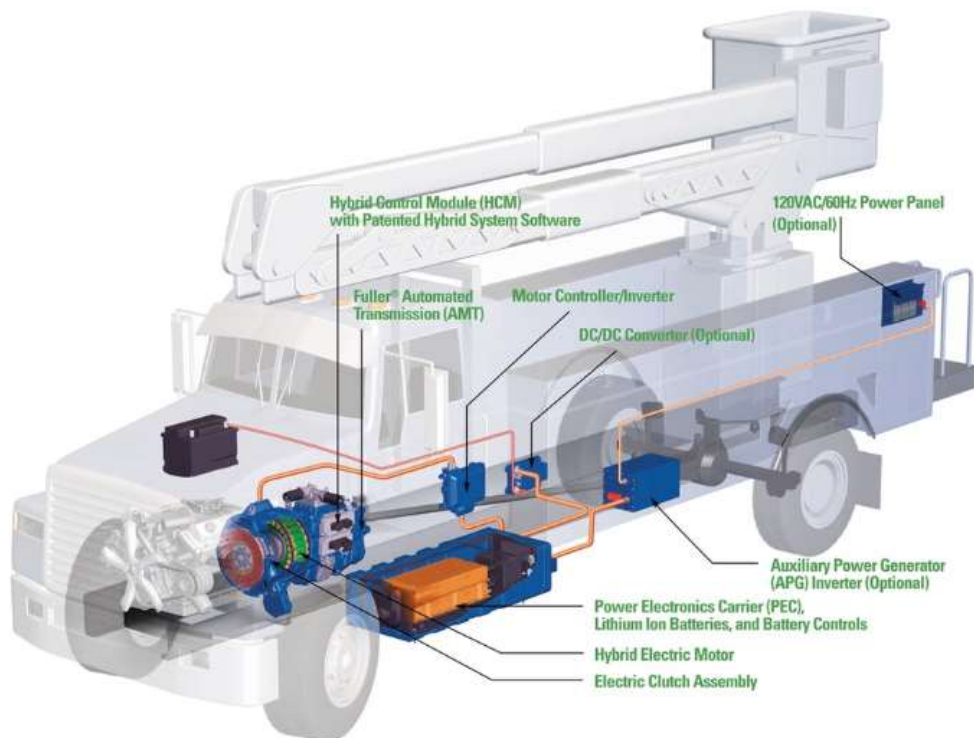


Figura 6 - Sistema híbrido

Fonte: <https://www.topspeed.com>

➤ Veículo elétrico à bateria

O veículo elétrico à bateria, é caracterizado por possuir apenas um sistema de propulsão, o sistema elétrico. A energia fica exclusivamente armazenada em baterias que por sua vez são recarregadas diretamente na rede elétrica através do sistema plug-in.

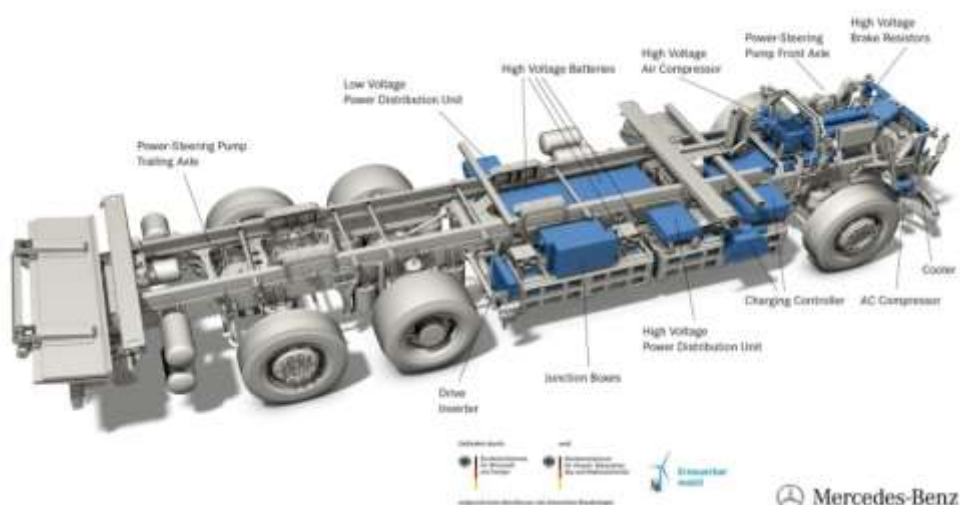


Figura 7 - Sistema elétrico

Fonte: <https://chargedevs.com>

3.2. Sistema elétrico

Como mostrado anteriormente, o veículo exclusivamente elétrico funciona apenas com um sistema de propulsão que é composto por um motor elétrico e um sistema de transmissão mecânico. Através de uma ligação plug-in, o veículo é alimentado pela rede elétrica e armazena essa energia em um banco de baterias. Para transmitir essa energia para o motor elétrico é preciso de um controlador, ele vai ser responsável pela transferência controlada da energia armazenada nas baterias para o motor. O motor elétrico vai ser responsável por transformar essa energia elétrica em energia mecânica que por sua vez vai ser responsável, através do sistema de transmissão mecânica, pelo movimento do veículo. Esse é o princípio básico de funcionamento, porém para melhorar a autonomia, eficiência e custo do veículo, são inseridos alguns sistemas adicionais como por exemplo o sistema de freios regenerativos. No veículo convencional o sistema de freio dissipa a energia cinética em forma de energia térmica e ruído. Em contrapartida, o sistema regenerativo dos veículos elétricos é um mecanismo de recuperação de energia que produz um contra torque no eixo da máquina elétrica (motor) que causa a diminuição da velocidade de um veículo, convertendo a sua energia cinética em energia elétrica, que é realimentada de volta para a fonte que originalmente a forneceu.

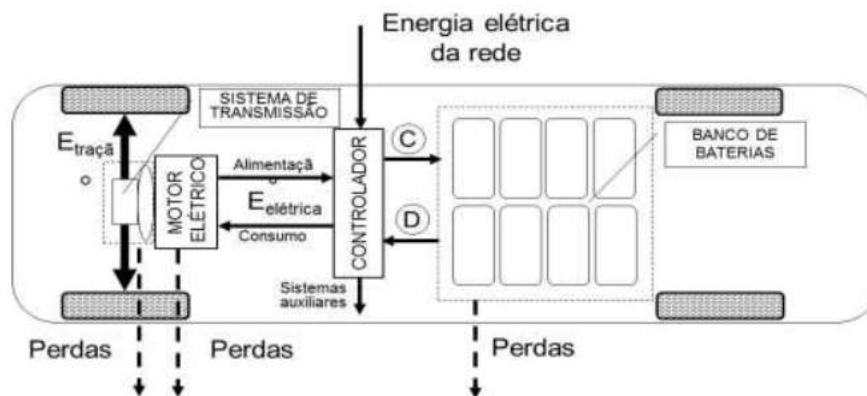


Figura 8 - Sistema elétrico

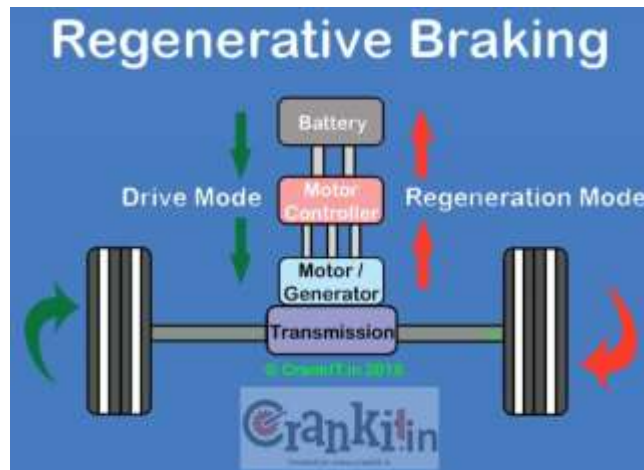


Figura 9 - Sistema de freios regenerativos

Fonte: <https://carbiketech.com>

No sistema elétrico representado na figura 8, as letras “C” e “D” indicam respectivamente a carga e descarga para o banco de baterias. Vale ressaltar que essas perdas, são muito menores que os sistemas convencionais e mesmo com o sistema de freios regenerativos instalado, ainda assim há perda de energia, pois por melhor que seja, o mecanismo nunca é ideal, ou seja, sua eficiência nunca vai ser de 100%.

3.3. Baterias

Como existe uma vasta gama de conceitos para veículos exclusivamente elétricos, as características técnicas relativas ao motor elétrico ou a capacidade da bateria podem diferir consideravelmente.

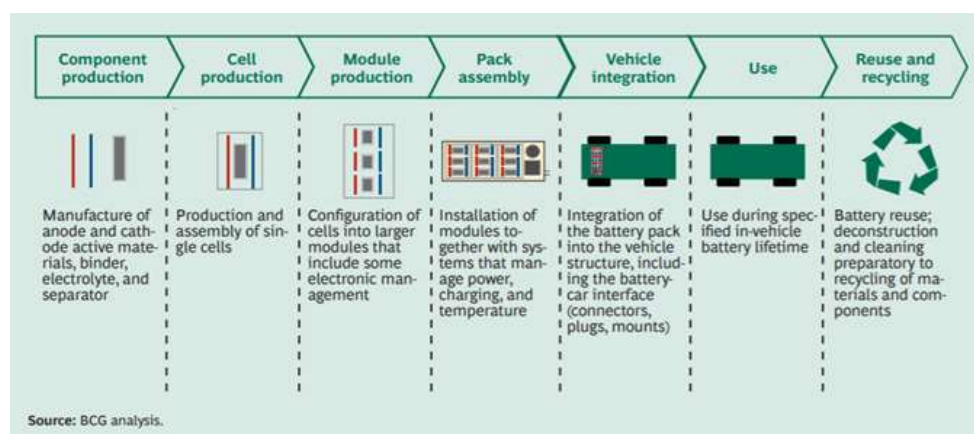


Figura 10 - As sete etapas que compõem o valor das baterias

Fonte: <https://www.bcg.com>

A figura 10 apresenta as etapas desde a matéria prima até o final da vida útil que uma bateria de veículos elétricos passa. Inicialmente, é escolhido o tipo de material da bateria que é diretamente responsável pela energia química (posteriormente energia elétrica) armazenada pela bateria. Atualmente, a maioria dos veículos elétricos levam baterias de íon de Lítio e são constituídas por um cátodo e um ânodo. Durante a descarga, os íons de lítio se movem do ânodo para o cátodo e sob carga, o fluxo é do cátodo ao ânodo. Há diferentes combinações desses elementos e cada uma delas vai mudar as características da bateria, isso vai ser apresentado posteriormente quando falarmos das diretrizes.

Especialmente no setor automotivo a preocupação com peso e espaço é evidente. Após escolher os componentes da bateria, se define o tamanho do banco de baterias. O número de módulos dentro desse banco vai depender da combinação de peso e da autonomia que foram pré-determinados no projeto do veículo. Por exemplo, se levarmos em conta a mesma autonomia para dois caminhões diferentes, o número de módulos dentro de um banco de baterias vai ser maior para o veículo que for mais pesado.

As três últimas etapas talvez sejam as mais determinantes para o preço do veículo elétrico. Como dito, posteriormente vão ser apresentadas as diretrizes para baterias e uma delas é exatamente a penúltima etapa, a vida útil. Basicamente, há duas maneiras de medir a vida útil da bateria, uma é levando em consideração a quantidade de ciclos que ela suporta, e a outra é a idade geral da bateria. Essa escolha vai depender do fabricante, e provavelmente vai ser escolhido o caminho que der mais lucro para a empresa.

3.3.1. Diretrizes

A recente explosão de inovação é impulsionada pela necessidade de quebrar alguns compromissos fundamentais na tecnologia de baterias. Segundo a “Battery University” no lado técnico, as tecnologias de íon de lítio concorrentes podem ser comparadas em seis dimensões: segurança, tempo de vida, desempenho, energia específica, potência específica e custo.

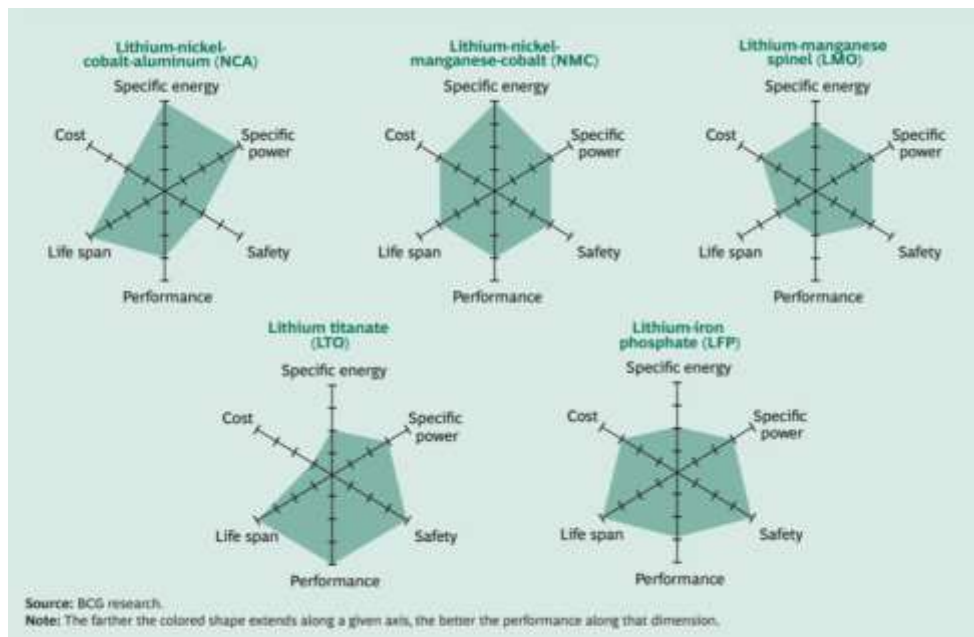


Figura 11 - Diferentes combinações e resultados baseados nas diretrizes

Fonte: <https://www.bcg.com>

Até o presente momento, como mostra a figura 11, nenhuma tecnologia ganha ao longo de todas as seis diretrizes. Escolher uma tecnologia que otimiza o desempenho em uma dimensão inevitavelmente significa comprometer outras dimensões. A bateria NCA, por exemplo, tem ótimos resultados na vida útil, energia e potência específicas, porém peca na segurança e isso pode ser determinante para a escolha dela. Em um ambiente onde a bateria vai estar em contato com o ser humano, talvez escolher a tecnologia NMC fosse mais interessante do que a apresentada anteriormente, visto que a segurança é mais importante que o desempenho energético.

3.3.2. Avaliação das diretrizes

- Vida útil

Há dois caminhos diferentes para medir a vida útil de uma bateria. O primeiro é levando em consideração a quantidade de ciclos de carga e descarga que uma bateria suporta, o outro é a “idade” que a bateria suporta.

- **Segurança**

Essa diretriz é mais importante quando se trata de veículos elétricos. Se alguma bateria explodir ou gerar um curto circuito a empresa fabricante está sujeita ao fracasso. Normalmente quando se tem a necessidade de usar uma tecnologia que não é totalmente segura os fabricantes fazem uma combinação com um sistema de segurança independente.

- **Desempenho**

A possibilidade de conduzir um veículo elétrico tanto a uma temperatura quente quanto a uma temperatura próxima de zero representa um grande desafio à engenharia. É possível fazer baterias para ambas as temperaturas, porém fazer uma única bateria que abranja todo esse intervalo e não perca o desempenho é muito difícil.

- **Energia específica**

A energia específica é a capacidade de armazenar uma quantidade de energia por quilograma. Em termos de energia específica, as baterias de veículos elétricos apresentam números muito inferiores às utilizadas nos combustíveis convencionais, cerca de um por cento. As células da bateria conseguem armazenar aproximadamente 150 watts-hora por quilograma enquanto a gasolina 13000 watts-hora.

- **Potência específica**

A potência específica é a quantidade de potência que a bateria é capaz entregar. Nos veículos elétricos a energia específica é mais importante que essa diretriz. Por isso, as vezes os fabricantes criam fatores para sacrificar uma parte da potência e ganhar um melhor desempenho em relação a energia específica.

- **Custo**

Mesmo que os fabricantes de baterias consigam enfrentar os desafios técnicos descritos acima, o custo da bateria pode permanecer acima do objetivo. Claramente, o custo das baterias terá um papel crítico na determinação da viabilidade comercial dos carros elétricos. as estimativas dos níveis de custo atuais e futuros variam amplamente e são mais complicadas pela falta de clareza sobre qual custo, precisamente, está sendo estimado.

3.4. Matriz energética nacional

A matriz energética brasileira é bastante diversificada e refere-se ao conjunto de fontes de energia utilizadas para atender à demanda de produção energética do país. O consumo de fontes de energia não renováveis é maior que o de fontes renováveis. Apesar disso, como podemos ver no gráfico a seguir, o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo.

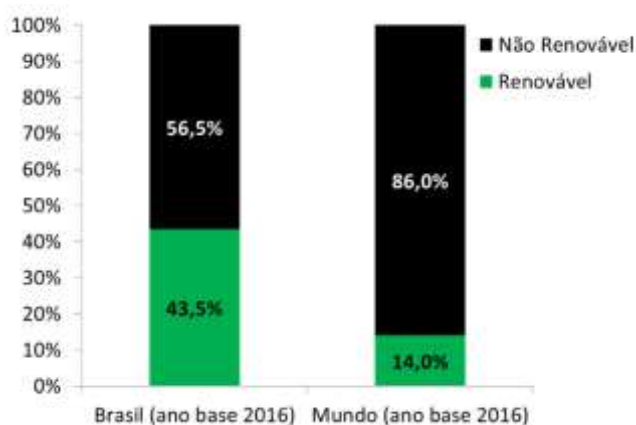


Figura 12 - Matriz energética Brasil x Mundo (2016)

Fonte: <http://epe.gov.br>

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cerca de 43,5% da produção de energia no país provém de fontes renováveis, como hidráulica, biomassa, etanol, energia eólica e energia solar. Percebe-se que o Brasil dispõe de um grande potencial de uso de fontes renováveis, porém de acordo com o Ministério de Minas e Energia, o país ainda enfrenta obstáculos de ordem econômica e operacional para a expansão desses tipos de fonte. O gráfico abaixo identifica a participação de cada fonte dentro desse cenário energético.



Figura 13 - Fontes energéticas brasileiras

Fonte: <https://www.biodieselbr.com>

3.5. Matriz elétrica nacional

Como visto no item anterior, o Brasil tem uma ótima performance quando se trata de fontes renováveis para fins energéticos. Isso se torna ainda melhor quando tratamos apenas da questão elétrica. A matriz elétrica (uma parcela da matriz energética) brasileira é ainda mais renovável do que a energética, cerca de 82% da eletricidade gerada vem de fontes renováveis.

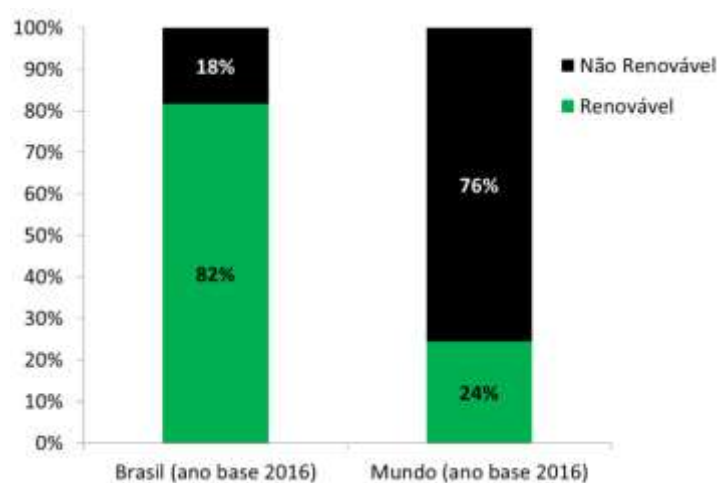


Figura 14 - Matriz elétrica Brasil x Mundo (2016)

Fonte: <http://epe.gov.br>

Os processos e as formas de produção de energia elétrica têm tido evolução constante e contínua, sempre em busca das melhores técnicas e dos menores custos, que resultem em eficiência. Cada vez mais é levada em conta a sustentabilidade nos projetos de geração de energia elétrica, transmissão e distribuição. A hidreletricidade tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro por várias décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético a nível nacional. Entre 2013 e 2014, as energias solar e eólica apresentaram juntas um crescimento de 122% em sua capacidade instalada (EPE,2015), o que deve refletir em uma tendência de crescimento dessas fontes de energia na matriz elétrica brasileira. Isso pode ser interessante visto que o desenvolvimento do setor de transportes elétricos também vem crescendo substancialmente, a união desses dois avanços pode melhorar muito o cenário brasileiro.

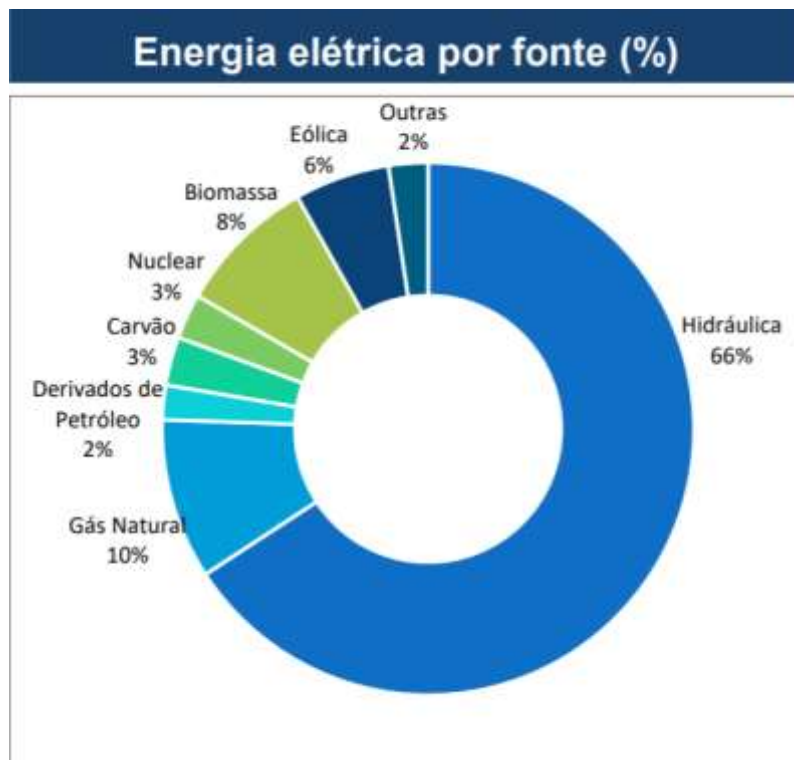


Figura 15 - Fontes elétricas brasileiras

Fonte: <http://epe.gov.br>

4. Análise da substituição dos veículos convencionais por elétricos

Como visto acima, os veículos elétricos apresentam inúmeras vantagens ambientais quando comparados com os convencionais. De fato, caso haja a substituição de uma parte da frota de transporte de cargas urbano, seria notável a redução de poluição sonora e atmosférica, levando assim a uma melhoria na qualidade do ar, tornando os centros urbanos mais admiráveis e reduzindo os danos à saúde da população, de uma maneira geral, melhoraria o aspecto social. Com isso, além dos benefícios visíveis, a implantação desses veículos tem potencial para reduzir a antipatia da população com o transporte de cargas que utilizam o espaço diário dos seus habitantes de uma forma agressiva.

Nos últimos anos, apesar dos veículos elétricos estarem sendo cada vez mais aplicados no transporte de cargas, ainda há barreiras que dificultam ou até mesmo impedem que tomem proporções maiores. Posteriormente vão ser configurados alguns cenários com diferentes hipóteses entre eles, o objetivo é mostrar o peso que cada hipótese tem no custo anual e tentar ir diminuindo esse valor para trazer a viabilidade do projeto. Caso não seja alcançada a viabilização com os dados que temos nos dias de hoje, será feita uma análise com previsões para ver quando esse sistema será viável de ser implementado.

As hipóteses para os caminhões convencionais vão ser as mesmas para todos os cenários, visto que, já é um sistema consolidado e não tem muitas opções na troca de valores. Abaixo está uma lista das possibilidades de hipóteses que podem ser adotadas para o estudo dos caminhões elétricos.

Pontos fixos	\$\$\$
Caminhão convencional	\$ 160,000.00
Caminhão elétrico	\$ 350,000.00
Combustível diesel	\$ 3.55
Pontos variáveis	Variáveis
Vida útil	Convencional Elétrico Leasing Compra
Bateria	Carregamento total Carregamento parcial
Energia	Tarifas Light 1 Tarifas Light 2 Placas Solar

Figura 16 - Possíveis hipóteses

Além das hipóteses, foram feitos cálculos baseados no teste piloto da Ambev para chegar a valores aproximados de quantos quilômetros cada caminhão rodaria por dia, quanto de energia seria gasto para realizar as entregas diárias, quantos Litros de combustível diesel seria utilizado pelos caminhões convencionais, entre outros cálculos indispensáveis para a análise do projeto. Segue abaixo uma tabela com os valores.

1 Caminhão			
150	km por dia		
6 dias na semana		43200	km por ano
900	km por semana		
3600	km por mês	8640	Litros por ano
200L a cada 1000km	720 L por 3600km		
720	Litros por mês	3420	kWh por mês
Energia elétrica		41040	kWh por ano
950	kWh a cada 1000km	41.04	MWh/ano
3420	kWh a cada 3600km		

Figura 17 - Valores base

Os valores em amarelo, foram pré-determinados de acordo com a revista “Automotive Business” e usados de base para os cálculos seguintes. Os valores em azul são relacionados à frota convencional e os verdes à frota elétrica.

Depois da escolha das hipóteses e dos cálculos feitos, utilizaremos o Valor Presente Líquido (VPL) que é um artifício matemático capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo inicial. Basicamente, é o cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial estariam valendo atualmente. A fórmula utilizada vai ser exposta abaixo.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} - Investimento\ Inicial$$

Onde “n” é o número de períodos, “FC” é o fluxo de caixa em cada período, e TMA é a taxa de juros aplicada.

4.1. 1º Cenário

No primeiro cenário, consideramos as seguintes hipóteses:

- Vida útil do veículo elétrico igual ao veículo convencional, 10 anos;
Essa hipótese foi baseada em um estudo da USF (University of South Florida)

Heavy Trucks (Waste and Recycle): These vehicles have a gross vehicle weight (GVW) of at least 33,000 lbs. and a load carrying capacity of five tons. The average useful life range is from 10 to 12 years.

- O investimento inicial, cujo valor é de 350 mil reais, foi dividido segundo o modelo da tabela PRICE, onde todas as parcelas são iguais ao longo do período (incluindo os juros). Aplicando os juros e trazendo os valores para o valor presente o veículo custa aproximadamente 488,5 mil reais. Abaixo está a tabela de cálculo.

$i = 0.123$

Frota elétrica				
n	Parcela	Juros	Amortizacao	Saldo
0	.	.	.	R\$ 175,000.00
1	R\$ 31,353.54	R\$ 21,525.00	R\$ 9,828.54	R\$ 165,171.46
2	R\$ 31,353.54	R\$ 20,316.09	R\$ 11,037.45	R\$ 154,134.01
3	R\$ 31,353.54	R\$ 18,958.48	R\$ 12,395.06	R\$ 141,738.95
4	R\$ 31,353.54	R\$ 17,433.89	R\$ 13,919.65	R\$ 127,819.30
5	R\$ 31,353.54	R\$ 15,721.77	R\$ 15,631.77	R\$ 112,187.54
6	R\$ 31,353.54	R\$ 13,799.07	R\$ 17,554.47	R\$ 94,633.06
7	R\$ 31,353.54	R\$ 11,639.87	R\$ 19,713.67	R\$ 74,919.39
8	R\$ 31,353.54	R\$ 9,215.08	R\$ 22,138.46	R\$ 52,780.93
9	R\$ 31,353.54	R\$ 6,492.05	R\$ 24,861.49	R\$ 27,919.45
10	R\$ 31,353.54	R\$ 3,434.09	R\$ 27,919.45	-R\$ 0.00
Total	R\$ 313,535.40	R\$ 138,535.40	R\$ 175,000.00	
Valor veículo	R\$ 488,535.40			

Tabela 1 - Cálculos do primeiro cenário

- Nesse cenário escolhemos o Leasing da bateria, e o carregamento total da bateria já instalada no veículo. Essa carga completa influencia na vida útil da bateria, pois esse intervalo de segurança (mostrado abaixo) que a bateria tem tende a diminuir com o tempo. Se a bateria nova for carregada até o seu máximo de armazenamento esse processo tende a ser acelerado e a bateria começa a perder poder de armazenamento mais rápido.

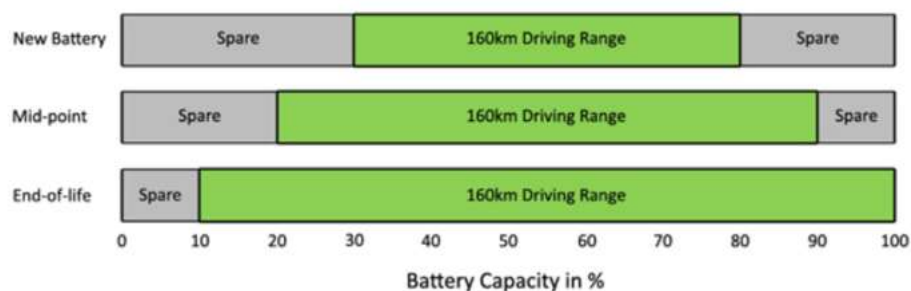


Figura 18 - Bandas de segurança da bateria

Fonte: <https://batteryuniversity.com>

Segundo o site Go Green Autos – Used EV Specialists e a fabricante de veículos elétricos Tesla, o preço do leasing dessas baterias está em torno de 0.625 reais por km rodado. O cálculo desse valor foi feito multiplicando esse custo pelo número de quilômetros rodados por cada caminhão no período de um ano. O valor foi de 27 mil reais por ano de leasing. Esse valor só será aplicado a partir do quinto ano de projeto pois já é considerado que no valor inicial do caminhão elétrico já está incluída uma bateria.

Leasing	R\$	0.63	R\$	27,000.00
---------	-----	------	-----	-----------

- Outra hipótese que precisamos considerar foi a fonte de energia que vai alimentar essas baterias. Nesse cenário foi considerada a energia da própria light, os caminhões seriam carregados em estações que tivessem tomadas apropriadas. A tabela usada para cálculo foi a de tarifa de média tensão – verde. Foi adotado que os todos os caminhões vão ser carregados no horário fora de ponta e isso faz total sentido visto que no horário de ponta (17h30 e 20h30) os caminhões vão realizar as entregas diárias ou estar voltando para as estações.

TARIFA DE MÉDIA TENSÃO – ESTUTURA HOROSSAZONAL VERDE												
Nível de Tensão	Demanda R\$/kW			Consumo R\$/mWh						Demanda de Ultrapassagem R\$/kW		
	TUSD + TE	TUSD	TE	Ponta			Fora Ponta					
				TUSD + TE	TUSD	TE	TUSD + TE	TUSD	TE	TUSD + TE	TUSD	TE
A3a (30 a 44kV)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4 (2,3 a 25kV)	17,50	17,50	0	1.353,15	912,47	440,48	394,86	125,44	269,42	35,00	35,00	0
AS (Subterrâneo)	14,02	14,02	0	2.250,24	1.809,76	440,48	456,66	187,24	269,42	28,04	28,04	0
(*) Tarifas sem incidência de ICMS, PIS e COFINS (**) Para a classe rural desconto de 10%												

Figura 19 - Tabela com preços da Light

O valor anual foi calculado levando em consideração a quantidade de MWh que cada caminhão consome durante 1 ano mais o valor de demanda de cada caminhão.

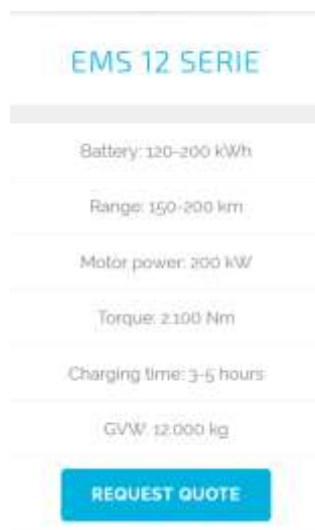


Figura 20 - Veículo de transporte escolhido

Fonte: <http://www.emoss.nl>

Como o caminhão utilizado para calculos foi esse modelo acima, a demanda foi feita dividindo 200kWh por 5h que é o tempo total de carga da bateria, não é necessário a utilização dessa quantidade toda (são gastos em média 145 kWh por dia), porém para calcular a demanda foi considerado o pior cenário, onde todos os caminhões precisariam carregar as baterias completamente. A demanda de 40kW foi multiplicada pelo valor da mesma tabela usada acima.

Com essas hipóteses e valores foi feita uma tabela onde mostra o custo anual de cada caminhão, tanto da frota convencional quanto da frota elétrica. Esses valores vão ser usados posteriormente para fazer o cálculo do VPL.

Frota Convencional													
Vida útil	10 anos	inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inv. Inicial	R\$ 160.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05
Combustível / l.	R\$ 3,55	R\$ -	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00
Manutenção anual	R\$ 8.640,00	R\$ -	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00
		R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05

Frota Elétrica													
Vida útil	10 anos	inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inv. Inicial	R\$ 350.000,00	R\$ 175.000,00	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54	R\$ 31.353,54
Leasing	R\$ 0,53	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Total Charge		R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Light FP	Demanda + Consumo	R\$ -	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05	R\$ 24.605,05
		R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59	R\$ 55.958,59
Manutenção		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Com Manutenção		59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59	59.958,59

Tabela 2 - Valores gerais do primeiro cenário

Nesse cenário, a implantação do sistema é inviável, pode-se perceber mesmo antes do cálculo do VPL que o custo anual da frota elétrica é muito superior ao da frota convencional, ou seja, mesmo a longo prazo, a diferença de investimentos iniciais nunca vai ser abatido.

O cálculo do VPL foi feito para futuras comparações entre os cenários. Segue abaixo o cálculo desse indicador.

VPL	-235,342.51
com manutenção -R\$	6,012.90 -R\$ 5,726.57 -R\$ 5,453.88 -R\$ 5,194.17 -R\$ 4,946.83 -R\$ 4,859.08 -R\$ 23,675.32 -R\$ 22,547.92 -R\$ 21,474.21 -R\$ 20,451.63

Ensaio 1 - Resultado VPL do primeiro cenário

Não vão ser feitas previsões de diminuição de custos pois o VPL deu um valor negativo muito alto, mesmo tratando algumas hipóteses esse cenário não vai se tornar viável.

4.2. 2º Cenário

A mudança nesse cenário foi simplesmente o tempo em que a bateria fica carregando, porém isso acarreta algumas mudanças no tempo de vida do caminhão e no

preço estimado do leasing. Como mostrado no primeiro cenário, a bateria dispõe de um intervalo de segurança que vai diminuindo com o tempo. Quanto mais tempo a bateria fica na tomada, menor fica sua eficiência de carga, ou seja, quando se chega próximo de 100% do seu armazenamento, consumimos muito mais energia para carregar um percentual que muito provavelmente não será utilizado diariamente no transporte.

Levando isso em conta, a vida útil foi aumentada para 7,5 anos e o preço do leasing diminuiu de R\$ 0,625 para R\$ 0,4 por quilômetro. Para adaptar essas mudanças, o investimento inicial de 350 mil foi dividido em um período de 15 anos da mesma maneira que o cenário anterior, pela tabela PRICE.

i= 0.123

Frota elétrica				
n	Parcela	Juros	Amortizacao	Saldo
0	.	.	.	175000
1	R\$ 26,107.07	R\$ 21,525.00	R\$ 4,582.07	R\$ 170,417.93
2	R\$ 26,107.07	R\$ 20,961.41	R\$ 5,145.67	R\$ 165,272.26
3	R\$ 26,107.07	R\$ 20,328.49	R\$ 5,778.58	R\$ 159,493.68
4	R\$ 26,107.07	R\$ 19,617.72	R\$ 6,489.35	R\$ 153,004.33
5	R\$ 26,107.07	R\$ 18,819.53	R\$ 7,287.54	R\$ 145,716.79
6	R\$ 26,107.07	R\$ 17,923.17	R\$ 8,183.91	R\$ 137,532.89
7	R\$ 26,107.07	R\$ 16,916.55	R\$ 9,190.53	R\$ 128,342.36
8	R\$ 26,107.07	R\$ 15,786.11	R\$ 10,320.96	R\$ 118,021.40
9	R\$ 26,107.07	R\$ 14,516.63	R\$ 11,590.44	R\$ 106,430.97
10	R\$ 26,107.07	R\$ 13,091.01	R\$ 13,016.06	R\$ 93,414.90
11	R\$ 26,107.07	R\$ 11,490.03	R\$ 14,617.04	R\$ 78,797.87
12	R\$ 26,107.07	R\$ 9,692.14	R\$ 16,414.93	R\$ 62,382.93
13	R\$ 26,107.07	R\$ 7,673.10	R\$ 18,433.97	R\$ 43,948.96
14	R\$ 26,107.07	R\$ 5,405.72	R\$ 20,701.35	R\$ 23,247.61
15	R\$ 26,107.07	R\$ 2,859.46	R\$ 23,247.61	-R\$ 0.00
Total	R\$ 391,606.06	R\$ 216,606.06	R\$ 175,000.00	
Valor veículo	R\$ 566,606.06			

Tabela 3 - Cálculos do segundo cenário

Como podemos perceber, somando todas as parcelas durante esse período de vida útil chega-se a um valor total maior que o anterior, porém com um custo anual menor.

Utilizando os mesmos valores base da figura 17, foi feito o cálculo anual do preço de cada caminhão com as respectivas hipóteses adotadas.

Frota Convencional														
Vida útil	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Inv. inicial R\$	180,000.00	R\$ 80,000.00	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05	R\$ 14,333.05
Combustível (% R\$)	3.35	R\$ -	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00	R\$ 30,672.00
Manutenção anual R\$	8,840.00	R\$ -	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00	R\$ 8,840.00
		R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05	R\$ 53,845.05

Frota Elétrica														
Vida útil	7.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Inv. inicial R\$	350,000.00	R\$ 175,000.00	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07	R\$ 26,107.07
Leasing R\$	0.40	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Light PP Demand + Consumo R\$	-	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05
		R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13

Hipóteses														
Vida útil	7.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Leasing R\$	0.40	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Light PP Demand + Consumo R\$	-	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05	R\$ 20,405.05
		R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13	R\$ 46,512.13

Tabela 4 - Valores gerais do segundo cenário

Se compararmos os meses onde o leasing é incluído, o custo anual caiu consideravelmente, cerca de 20 mil reais por ano, quase 25% a menos do valor apresentado no primeiro cenário, porém ainda assim continua bem mais alto do que o valor da frota convencional.

O leasing só foi cobrado a partir do oitavo ano de projeto pois é considerado que no valor inicial do caminhão elétrico já está incluída uma bateria que tem, como dito acima, aproximadamente 7,5 anos de vida útil.

O VPL foi calculado da mesma maneira e será apresentado abaixo.

VPL	-141,853.30
com manutenção	R\$ 2,983.73 R\$ 2,841.65 R\$ 2,706.34 R\$ 2,577.46 R\$ 2,454.73 R\$ 2,337.83 R\$ 2,226.51 -R\$ 9,575.30 -R\$ 9,119.33 -R\$ 8,685.08 -R\$ 8,271.50 -R\$ 7,877.62 -R\$ 7,502.50 -R\$ 7,145.24 -R\$ 6,804.99

Ensaio 2 - Resultado VPL do segundo cenário

Usando o indicador como referência, chegamos a um resultado bem melhor que o anterior, mas ainda está muito longe de tornar o cenário viável para a implementação do sistema elétrico.

4.3. 3º Cenário

Considerando que os dois últimos cenários só tiveram a diferença na quantidade de carga que seria armazenada na bateria a cada vez que fosse carregada, vai ser utilizado o melhor resultado para implementar mais uma mudança no quadro geral do projeto. Vai ser mantido o carregamento parcial da bateria, porém agora em vez de utilizar o Leasing, vai ser realizada a compra da bateria.

Sem entrar no quesito de custo, essa mudança é um pouco arriscada, visto que o cenário de baterias elétricas está em constante mudança. Com o leasing é possível não se prender a tecnologia da bateria instalada no veículo, ou seja, caso apareça uma bateria de melhor qualidade no mercado, com o leasing é possível realizar essa troca sem problema nenhum. Quando o usuário escolhe a compra da bateria, ele fica sujeito ao risco de estar utilizando uma bateria de pior qualidade pelo mesmo preço da nova tecnologia.

O cálculo do preço de compra da bateria foi baseado nos valores do gráfico abaixo. Considerando que estamos em 2019, o preço da bateria está em torno de \$200 por kWh. Como o caminhão utilizado para análise tem uma bateria de 200 kWh, e convertendo esse valor de dólar para real (1:4), chega-se a um preço de R\$160 mil pela bateria.

Electric vehicle battery cost

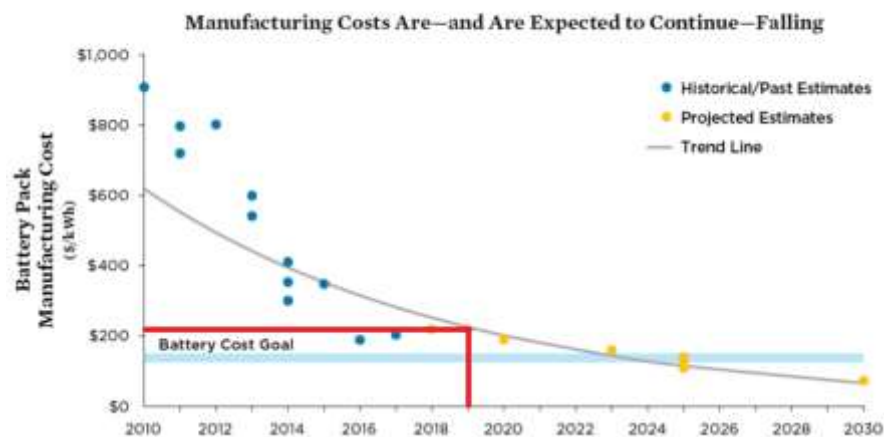


Figura 21 - Curva do preço das baterias em 2019

Fonte: <https://www.ucsusa.org>

Abaixo a nova tabela com valores referentes as hipóteses utilizadas nesse cenário.

Prota Convencional													
Valor unit	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Inv. Inicial	R\$ 180.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05
Combustível / L	R\$ 2,50	R\$ -	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00
Manutenção/anual	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00
			R\$ 30.645,05	R\$ 31.849,05	R\$ 33.645,05	R\$ 35.849,05	R\$ 38.645,05	R\$ 42.049,05	R\$ 46.045,05	R\$ 50.645,05	R\$ 55.849,05	R\$ 61.645,05	R\$ 68.045,05

Prota Elétrica													
Valor unit	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Inv. Inicial	R\$ 200.000,00	R\$ 175.000,00	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07	R\$ 16.107,07
Combustível / L	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Manutenção/anual	R\$ 160.000,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
			R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05	R\$ 20.429,05
			R\$ 46.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13	R\$ 48.512,13

Tabela 5 - Valores gerais do terceiro cenário

Utilizando o mesmo raciocínio dos cenários anteriores, onde o caminhão já vem com uma bateria, só consideramos o preço da bateria a partir do oitavo ano de projeto.

VPL	-160,471.42
com manutenção	R\$ 2,983.73 R\$ 2,841.65 R\$ 2,706.34 R\$ 2,577.46 R\$ 2,454.73 R\$ 2,337.83 R\$ 2,226.51 -R\$ 12,318.75 -R\$ 11,732.15 -R\$ 11,173.47 -R\$ 10,641.40 -R\$ 10,134.67 -R\$ 9,652.07 -R\$ 9,192.44 -R\$ 8,754.71

Ensaio 3 - Resultado VPL do terceiro cenário

O VPL, que tem a função de nos mostrar a viabilidade do projeto continua negativo, porém podemos comparar com o cenário anterior e verificar se essa mudança foi positiva ou não para a implementação. A conclusão que tiramos é que em 2019 ainda é mais viável utilizar o leasing de baterias a compra.

4.4. 4º Cenário

Nesse cenário, será levado em conta o resultado dos anteriores e vai ser mantida as hipóteses de carregamento parcial, de leasing e a vida útil da bateria de 7.5 anos.

A mudança vai vir na parte da demanda/consumo de energia pela frota, em vez de consumirmos essa energia diretamente da Light (distribuidora local), vai ser feito um investimento em energia solar e todos os caminhões vão consumir a energia dessas estações.

O simulador utilizado para fazer esse cálculo foi o “Portal Solar” e algumas observações precisam ser feitas sobre esse investimento. O valor simulado está abaixo, e posteriormente as observações.



Figura 22 - Custo dos painéis solares

Fonte: <https://www.portalsolar.com.br>



A melhor simulação que pode ser feita foi essa, porém alguns comentários são imprescindíveis. Esse cálculo foi feito para toda a energia estar concentrada em uma única região, ou seja, todos os caminhões de entrega necessariamente precisariam ir carregar no mesmo ponto. Além disso, a potência instalada não é suficiente para atender todos os caminhões ao mesmo tempo, como não se tem previsão da quantidade de caminhões que vão precisar ser carregados ao mesmo tempo, é interessante que se calcule a potência para o pior cenário (todos os caminhões carregando ao mesmo tempo).

Pode-se resolver essa situação considerando que a soma de todas as estações daria o valor de uma única e cada estação teria potência necessária para carregar o número de caminhões que fossem direcionados a ela.

Levando em consideração os pontos acima, os cálculos vão ser feitos com o valor simulado. Parcelando o valor por cinco anos, chegamos a um valor final de 25 Milhões de reais que será distribuído anualmente por cada caminhão. Será cobrado um valor de manutenção desses painéis solares igual ao custo de manutenção de cada caminhão elétrico (4 Mil reais anuais).

Total Placa solar: 15.185.840,00		Para 1600 caminhões
R\$	414,734.30	60 parcelas
R\$	24,884,058.00	Preço para 5 anos
R\$	4,976,811.60	Anual para 1600 caminhões
R\$	3,110.51	Anual por caminhão
R\$	15,552.54	Preço por caminhão

Tabela 6 - Cálculo de custo dos painéis solares

Abaixo a tabela com os valores considerando todos os pontos vistos acima.

		Frota Convencional															
Vida útil	10	Initial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
	R\$	R\$ 190.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09	R\$ 14.355,09				
	R\$	5,35	-	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00	R\$ 30.672,00				
	R\$	8.640,00	-	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00				
			R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05				
			R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05				
		Frota Elétrica															
Vida útil	15	Initial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	R\$	R\$ 350.000,00	R\$ 175.000,00	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07	R\$ 26.107,07
	R\$	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 17.280,00	R\$ 17.280,00	R\$ 17.280,00	R\$ 17.280,00	R\$ 17.280,00	R\$ 17.280,00	R\$ 17.280,00
	R\$	15.552,54	-	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			R\$ 28.217,58	R\$ 28.217,58	R\$ 28.217,58	R\$ 28.217,58	R\$ 28.217,58	R\$ 28.107,07	R\$ 28.107,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07	R\$ 43.387,07
			8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
			57.217,58	57.217,58	57.217,58	57.217,58	57.217,58	54.107,07	54.107,07	51.987,07	51.987,07	51.987,07	51.987,07	51.987,07	51.987,07	51.987,07	51.987,07

Tabela 7 - Valores gerais do quarto cenário

Com essas mudanças finalmente chegamos a valores anuais da frota elétrica menores que os da frota convencional. A partir de agora, com a escolha das melhores

hipóteses, o objetivo será o prazo de viabilidade do sistema, ou seja, quanto tempo a empresa precisa para ter um retorno positivo do sistema implementado. O VPL também consegue fornecer esse índice.

VPL	14,958.68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-----	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ensaio 4 - Resultado VPL do quarto cenário

Segundo o indicador utilizado, esse projeto se torna viável, porém o valor ainda é baixo. Foi preciso considerar os 15 anos para a viabilidade, esse período não é muito bem visto pela empresa que decide investir em um projeto desse tamanho.

4.5. 5º Cenário

O quinto cenário vai usar as mesmas hipóteses do cenário anterior, porém a forma que o investimento inicial vai ser distribuído ao longo dos anos vai ser diferente. Anteriormente as parcelas anuais estavam divididas igualmente (como manda a tabela PRICE), agora utilizaremos o sistema SAC que tem como característica amortização constante e parcela decrescendo com o tempo. A tabela com os valores está abaixo.

SAC				
Prata elétrica				
n	Parcela	Juros	Amortização	Saldo
0				175,000.00
1	R\$ 33,191.67	R\$ 21,525.00	R\$ 11,666.67	163,333.33
2	R\$ 31,736.67	R\$ 20,090.00	R\$ 11,666.67	151,666.67
3	R\$ 30,321.67	R\$ 18,655.00	R\$ 11,666.67	140,000.00
4	R\$ 28,886.67	R\$ 17,220.00	R\$ 11,666.67	128,333.33
5	R\$ 27,451.67	R\$ 15,785.00	R\$ 11,666.67	116,666.67
6	R\$ 26,016.67	R\$ 14,350.00	R\$ 11,666.67	105,000.00
7	R\$ 24,581.67	R\$ 12,915.00	R\$ 11,666.67	93,333.33
8	R\$ 23,146.67	R\$ 11,480.00	R\$ 11,666.67	81,666.67
9	R\$ 21,711.67	R\$ 10,045.00	R\$ 11,666.67	70,000.00
10	R\$ 20,276.67	R\$ 8,610.00	R\$ 11,666.67	58,333.33
11	R\$ 18,841.67	R\$ 7,175.00	R\$ 11,666.67	46,666.67
12	R\$ 17,406.67	R\$ 5,740.00	R\$ 11,666.67	35,000.00
13	R\$ 15,971.67	R\$ 4,305.00	R\$ 11,666.67	23,333.33
14	R\$ 14,536.67	R\$ 2,870.00	R\$ 11,666.67	11,666.67
15	R\$ 13,101.67	R\$ 1,435.00	R\$ 11,666.67	-
Total	R\$ 347,200.00	R\$ 172,200.00	R\$ 175,000.00	
Valor veículo	R\$ 522,200.00			

Tabela 8 - Cálculos do quinto cenário

Pode-se perceber que o valor das parcelas começa maior que os da Tabela Price, porém a partir do sexto ano esse valor se torna menor. Além disso, o valor total do veículo também fica menor, cai cerca de 45 mil reais.

Abaixo está a tabela feita com os novos valores das parcelas e com as hipóteses mantidas.

Flota Convencional													
Veículo	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Veículo Inicial	R\$ 100.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 14.335,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05	R\$ 14.333,05
Combustível / L	R\$ 8,80	R\$ -	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00	R\$ 30,672,00
Manutenção/Ano	R\$ 8.640,00	R\$ -	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00	R\$ 8.640,00
		R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05	R\$ 53.645,05

Flota Elétrica													
Veículo	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Veículo Inicial	R\$ 330.000,00	R\$ 175.000,00	R\$ 33.191,67	R\$ 31.756,67	R\$ 30.321,67	R\$ 28.886,67	R\$ 27.451,67	R\$ 26.016,67	R\$ 24.581,67	R\$ 23.146,67	R\$ 21.711,67	R\$ 20.276,67	R\$ 18.841,67
Perda de carga	R\$ 0,40	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 17,280,00	R\$ 17,280,00	R\$ 17,280,00	R\$ 17,280,00
Perda de carga	R\$ 15.152,54	R\$ -	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51	R\$ 3.110,51
		R\$ 34.302,17	R\$ 34.857,17	R\$ 33.432,17	R\$ 31.947,17	R\$ 30.542,17	R\$ 29.116,67	R\$ 27.681,67	R\$ 26.246,67	R\$ 24.811,67	R\$ 23.376,67	R\$ 21.941,67	R\$ 20.506,67
		8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000

Tabela 9 - Valores gerais do quinto cenário

Com essa simples mudança no tratamento das parcelas do valor inicial do veículo, tivemos uma significativa melhora no indicador. O valor duplicou em relação ao sistema utilizado anteriormente. Segue abaixo o VPL desse cenário.

VPL	32,241.32
com manutenção	R\$ 8,897.97 R\$ 9,775.85 R\$ 10,549.94 R\$ 11,228.14 R\$ 11,817.83 R\$ 14,647.00 R\$ 14,969.35 R\$ 3,532.01 R\$ 4,288.83 R\$ 4,965.56 R\$ 5,568.12 R\$ 6,102.04 R\$ 6,572.47 R\$ 6,984.27 R\$ 7,341.95

Tabela 10 - Resultado VPL do quinto cenário

Com esse cenário, a viabilidade do projeto ainda está em dúvida. É preciso 13 anos para começar a ter o retorno inicial.

Nos próximos cenários vão ser utilizadas as mesmas hipóteses, porém vão ser feitas as previsões de custo para daqui a alguns anos.

4.6. 6º Cenário

Este cenário, como anunciado acima, vai ser constituído com as melhores hipóteses e com as previsões de custo de cada uma delas. Todas as previsões foram retiradas de sites renomados no setor de energia.

O primeiro passo, e talvez o mais importante vai ser a análise do custo inicial do veículo elétrico. No capítulo 3 foram abordados os veículos elétricos e nele vimos que o principal custo do automóvel é a própria bateria. Levando isso em consideração, será utilizado o gráfico de preço das baterias para chegar a uma previsão de custo do veículo de carga elétrico.

Electric vehicle battery cost

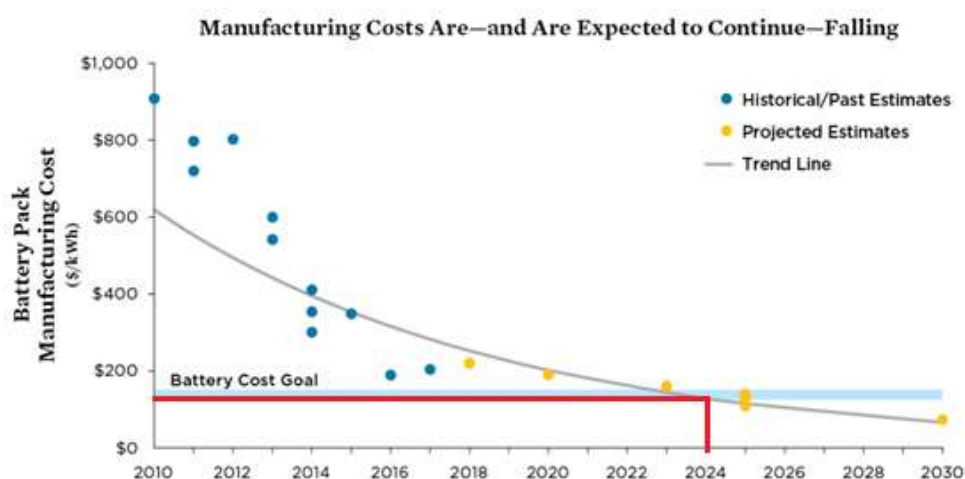


Figura 23 - Gráfico com previsão de custo para 2024

Fonte: <https://www.ucsusa.org>

A previsão de custo da bateria em 2024 está em torno de 125 dólares por kWh, trazendo esse valor para o real, da aproximadamente 500 reais / kWh. A partir desses valores, foi feito o cálculo para chegar a uma taxa de redução que será aplicada tanto no preço inicial do veículo como no leasing da bateria. A tabela abaixo mostra esses valores.

	Valor atual	Previsão
Preço de compra	800 reais/kWh	500 reais/kWh
Taxa de redução	1.6	
Leasing por km	R\$ 0.25	
Valor Inicial	R\$ 218,750.00	

Figura 24 - Tabela com taxa de redução

Além disso, outro ponto que tem previsão de redução no custo é o sistema de placas solares, porém essa taxa de redução calculada acima não tem conexão nenhuma com o sistema fotovoltaico, então será necessário procurar outro modo de prever esse valor. A maneira encontrada foi através de um relatório recentemente elaborado pela IRENA – International Renewable Energy Agency, segundo eles o preço dessa tecnologia tem o potencial de cair em até 59% até 2025 (a partir da data em que a pesquisa foi elaborada), o que significa uma média de 5,9% ao ano. Como a data atual difere da data em que a pesquisa foi feita, vai ser utilizada a média para prever o custo em 2024. A tabela abaixo mostra esses cálculos.

Preço atual	R\$ 15,552.54
Previsão de preço	Cair 29,5% até 2024
Valor do sistema fotovoltaico em 2024	R\$ 11,664.41

Figura 25 - Redução no sistema fotovoltaico

Substituindo os valores do cenário anterior por todas as previsões feitas acima, o resultado encontrado foi o seguinte:

Investimento	Frota Elétrica																		
	Vida útil	15	inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	Compra	imediata	R\$ 119.000,00	R\$ 109.500,00	R\$ 95.191,67	R\$ 81.756,67	R\$ 69.921,67	R\$ 58.886,67	R\$ 47.851,67	R\$ 36.816,67	R\$ 24.581,67	R\$ 21.146,67	R\$ 11.711,67	R\$ 10.276,67	R\$ 18.841,67	R\$ 17.406,67	R\$ 15.971,67	R\$ 14.536,67	R\$ 13.101,67
	Parcela Charge	leasing	R\$ 6,28	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00	R\$ 10.800,00
	Parcela Solar	Parcela solar	R\$ 11.094,43	R\$ -	R\$ 3.832,88	R\$ 2.201,88	R\$ 3.832,88	R\$ 3.832,88	R\$ 2.201,88	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
				R\$ 95.524,95	R\$ 94.089,95	R\$ 92.654,95	R\$ 91.219,95	R\$ 89.784,95	R\$ 26.016,67	R\$ 24.581,67	R\$ 38.546,67	R\$ 52.511,67	R\$ 91.076,67	R\$ 29.641,67	R\$ 28.206,67	R\$ 26.771,67	R\$ 25.336,67	R\$ 23.901,67	R\$ 22.466,67
				8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
				R\$ 95.524,95	R\$ 94.089,95	R\$ 92.654,95	R\$ 91.219,95	R\$ 89.784,95	R\$ 26.016,67	R\$ 24.581,67	R\$ 38.546,67	R\$ 52.511,67	R\$ 91.076,67	R\$ 29.641,67	R\$ 28.206,67	R\$ 26.771,67	R\$ 25.336,67	R\$ 23.901,67	R\$ 22.466,67

Tabela 11 - Valores gerais do sexto cenário

Pode-se perceber que o valor anual da frota elétrica já se encontra bem menor que o os custos da frota convencional, porém o investimento inicial ainda é mais alto. Como feito acima, utilizaremos o VPL para analisar se esses custos anuais conseguem compensar o investimento anual, e em quanto tempo isso se torna possível.

VPL	130,872.53														
com manutençã	R\$ 9,638.57	R\$ 10,481.18	R\$ 11,221.68	R\$ 11,867.89	R\$ 12,427.12	R\$ 14,647.00	R\$ 14,969.35	R\$ 7,917.92	R\$ 8,465.89	R\$ 8,943.72	R\$ 9,356.85	R\$ 9,710.34	R\$ 10,008.96	R\$ 10,257.11	R\$ 10,458.94

Tabela 12 - Resultado VPL sexto cenário

Como esperado, o VPL foi positivo e bem acima dos valores encontrados anteriormente. Pode-se tirar desse dado que se todas as previsões informadas pelas fontes se concretizarem, ou pelo menos chegarem próximas a esses valores, teremos daqui a 4 anos um cenário bastante favorável para a implementação de uma frota elétrica para distribuição urbana.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou tanto a tecnologia predominante nos dias de hoje como a tecnologia que pretende tomar conta do mercado de transporte de cargas urbana. Por meio de estudos realizados foi possível abordar a classificação e divisão da frota de caminhões urbanos, os tipos de energias utilizados por eles e o impacto que causam no meio ambiente. Além disso, foi abordado mais a fundo os tipos de veículos elétricos, as tecnologias empregadas por eles, tanto das baterias como a de propulsão elétrica.

Com o conhecimento básico dos assuntos citados, percebeu-se que o impacto no meio ambiente poderia ser significativamente reduzido com o uso dos veículos de zero emissão de gases do efeito estufa. A partir daí foi feita uma comparação direta das diferentes tecnologias; através de um estudo de caso e uma análise de sensibilidade, chegou-se a uma conclusão que vai ser explicitada ao decorrer desse capítulo.

Ao longo do trabalho foram criados diversos cenários onde pequenas mudanças eram feitas de um para o outro. O objetivo dessas mudanças era analisar o impacto que cada uma delas causava para a empresa que decidisse implementar o sistema. Os primeiros cenários estudados foram fundamentais para a escolha dessas hipóteses, com eles foi possível determinar as que trariam um retorno mais rápido. A viabilidade econômica só veio a partir do quarto cenário, porém o tempo em que ela precisava para se concretizar não a tornava interessante para a empresa, no caso, a Ambev.

A partir desse momento, percebeu-se a dificuldade de implementação desse sistema, não era possível melhorar os custos em nenhuma das hipóteses escolhidas. Já não havia opções melhores de escolhas do mercado, de tecnologias, de infraestrutura implementados. A maneira adotada para tentar melhorar ainda mais foi a mudança no financiamento do veículo, adotou-se o sistema SAC no lugar da tabela PRICE, mesmo assim ainda era inviável o projeto levando em consideração o tempo de retorno.

Grande parte dos desafios está relacionado ao mercado brasileiro ainda ser incipiente na questão da tecnologia elétrica. Abordando esse ponto e tentando resolvê-lo, foi feita uma previsão do melhor cenário atual para daqui a 5 anos. O cenário 6 utilizou o sistema SAC, as previsões dos serviços de leasing de baterias, da implementação de estações solares e do preço dos veículos de transporte de cargas elétricos. O Valor Presente Líquido, foi utilizado como indicador para identificar a viabilidade do sistema ou não. Esse cenário trouxe uma resposta muito boa para a implementação do sistema, a

partir do momento em que o investimento acontecesse, o retorno econômico apareceria dentro de 6 anos.

Com o intuito de se situar melhor, e ter uma noção mais ampla da conjuntura atual, vai ser aprofundado um pouco mais o cenário 5 e o cenário 6, um trata da situação atual brasileira e o outro do futuro do nosso país. Uma ótima maneira de visualizar um projeto é usando indicadores, e nesse momento vão ser utilizados dois deles. O primeiro, vai ser o custo em reais a cada kWh ou Litro utilizado. Esse não é um indicador muito preciso para comparações pois o número obtido pode confundir, visto que se trata de duas tecnologias que usam energias diferentes. O outro, vai ser o custo a cada km rodado pelo caminhão, esse vai fornecer uma visão melhor, pois o indicador tem mesma unidade tanto para a frota convencional quanto para a frota elétrica. Abaixo as tabelas utilizadas para comparação.

	Elétrica	Convencional
Custo Total 15 anos	R\$ 620,992.54	R\$ 804,675.71
Total de kWh e L	492,480.00	103,680.00
R\$/kWh e R\$/L	R\$ 1.26	R\$ 7.76
Total de km	518,400.00	518,400.00
R\$/km	R\$ 1.20	R\$ 1.55

Figura 26 - Tabela com custos da conjuntura atual (cenário 5)

	Elétrica	Convencional
Custo Total 15 anos	R\$ 565,264.41	R\$ 804,675.71
Total de kWh e L	492,480.00	103,680.00
R\$/kWh e R\$/L	R\$ 1.15	R\$ 7.76
Total de km	518,400.00	518,400.00
R\$/km	R\$ 1.09	R\$ 1.55

Figura 27 - Tabela com custos em 2024 (cenário 6)

	Cenário 5	Cenário 6
Custo Total 15 anos	R\$ 620,992.54	R\$ 565,264.41
Total de kWh	492,480.00	492,480.00
R\$/kWh	R\$ 1.26	R\$ 1.15
Total de km	518,400.00	518,400.00
R\$/km	R\$ 1.20	R\$ 1.09

Figura 28 - Tabela com custos da conjuntura atual e previsão de 2024

Chegou-se a 1 real e 20 centavos a cada quilometro rodado na conjuntura atual, a previsão de 2024 forneceu um valor de 1 real e nove centavos por quilômetro rodado. Pode parecer que essa diferença seja pequena, porém esses valores levam em conta

apenas os custos anuais do caminhão, ou seja, não está incluído o valor inicial do caminhão.

Viu-se que a utilização de veículos elétricos para o transporte de cargas urbano enfrenta diversos problemas na conjuntura atual, tornando-se, portanto, inviável. Em contrapartida, dentro de 5 anos é bem provável que o sistema já comece a funcionar e traga além dos benefícios ambientais para a população o retorno econômico para as empresas. Este estudo pode, portanto, colaborar para a tomada de decisão de empresas que estão pensando em implementar o projeto de veículos elétricos. Se programar para inserir os veículos elétricos no transporte de carga urbano pode ser um diferencial, visto que além do benefício econômico eles trazem uma maior aceitação da população no que diz respeito a invasão da área urbana para o transporte de cargas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Reportagem da AMBEV com Volkswagen. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2018/08/ambbev-se-alia-volkswagen-para-usar-16-mil-caminhoes-eletricos-ate-2023.html>

Cenário dos caminhões elétricos no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.smartia.com.br/blog/caminhoes-eletricos-brasil-mundo/>

Caminhões E-FORCE. <https://www.eforce.ch/products/ef18>

Quick facts about Volvo Trucks' electric trucks. Disponível em: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news/volvo-trucks-magazine/2018/jun/quick-facts-electric-trucks.html>

Caminhões elétricos Semi da Tesla. Disponível em: <https://canaltech.com.br/carros/caminhoes-eletricos-semi-da-tesla-custarao-a-partir-de-us-150-mil-104134/>

Daimler Adds Two Electric Trucks in Race Against Tesla, VW. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-06-06/daimler-adds-two-electric-trucks-in-race-against-tesla-vw>

Ambev e Volkswagen concluem piloto de testes de 1º caminhão elétrico para transportar bebidas. Disponível em: <https://extra.globo.com>

Volvo Pushes Forward With Electric Trucks. Disponível em: <https://www.ttnews.com/articles/volvo-pushes-forward-electric-trucks>

Tesla Semi: analysts see Tesla leasing batteries for \$0.25/miles. Disponível em: <https://electrek.co/2017/04/20/tesla-semi-leasing-batteries-electric-truck/>

To Lease or Not To Lease (EV Batteries). Disponível em: <https://cleantechnica.com/2018/04/08/to-lease-or-not-to-lease-ev-batteries/>

Battery lease explained. Disponível em: <https://www.gogreenautos.co.uk/buyers-guide/battery-lease-explained>

ELECTRIC TRUCKS: THE FUTURE FOR INNER CITY DISTRIBUTION IS HERE. Disponível em: <http://www.emoss.nl/en/electric-vehicles/full-electric-truck/>

Electric Vehicle Battery: Materials, Cost, Lifespan. Disponível em: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/electric-cars-battery-life-materials-cost>

Tabela de Vida Útil e Valor Residual. Disponível em: <http://www.fazenda.rj.gov.br/>

Vehicle Average Replacement Schedule. Disponível em:
<https://www.usf.edu/administrative-services/documents/asbc-resources-field-equipment-replacement.pdf>

Estudo reúne soluções de logística urbana para o transporte de cargas. Disponível em: <https://www.iadb.org/pt/noticias/estudo-reune-solucoes-de-logistica-urbana-para-o-transporte-de-cargas>

Gases de efeito estufa: o que são e sua influência no aquecimento global. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/6037-gases-de-efeito-estufa/>

A TECNOLOGIA SOBRE RODAS- VEÍCULOS ELÉTRICOS E SEUS BENEFÍCIOS. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br>

Conheça os carros elétricos que farão parte da sua vida. Disponível em: <http://shareenergy.com.br>

Motor elétrico para carros. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/>

Freio Regenerativo (Sistema de Recuperação de Energia Cinética) Disponível em: <http://automoveiseletricos.blogspot.com/2013/03/freio-regenerativo-sistema-de.html>

Discover alternatives to fossil fuel in batteries. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev

Batteries for electric cars – Challenges, opportunities and the outlook to 2020. Disponível em: <https://www.bcg.com>

Matriz energética e elétrica. Disponível em: <http://epe.gov.br>

Energia Solar: instalar agora ou esperar o preço cair? Disponível em: <https://astrasolar.com.br>

Simulador Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br>