

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

VINÍCIUS PINHEIRO FONTES

ANÁLISE COMPARATIVA DE FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL ENTRE UMA  
SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA SEM REDE POR VEÍCULO AUTOMOTOR E A  
SOLUÇÃO COM REDE

Macaé, julho de 2020

**FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA BIBLIOTECA DO CAMPUS MACAÉ**

551.5

F683a

Fontes, Vinícius Pinheiro

2020

Análise comparativa de fornecimento de água potável entre uma solução alternativa coletiva sem rede por veículo automotor e a solução com rede / Vinícius Pinheiro Fontes. --- Macaé: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Meteorologia, 2020.  
49 f. : il.

VINÍCIUS PINHEIRO FONTES

ANÁLISE COMPARATIVA DE FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL ENTRE UMA  
SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA SEM REDE POR VEÍCULO AUTOMOTOR E A  
SOLUÇÃO COM REDE

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Orientadora: M.Sc. Beatriz Rohden Becker

Coorientador: M.Sc. Matheus Ferreira de Barros

Macaé, julho de 2020

VINÍCIUS PINHEIRO FONTES

ANÁLISE COMPARATIVA DE FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL ENTRE UMA  
SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA SEM REDE POR VEÍCULO AUTOMOTOR E A  
SOLUÇÃO COM REDE

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Aprovado em 30 de julho de 2020

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Maria Gertrudes A. Justi da Silva, D.Sc., UENF

---

Prof. Rafael Malheiro da S. do Amaral Ferreira, D.Sc., UFRJ

---

Prof. Matheus Ferreira de Barros, M.Sc., UFRJ  
(Coorientador)

---

Prof.<sup>a</sup> Beatriz Rohden Becker, M.Sc., UFRJ  
(Orientadora)

Aos meus pais e  
mestres, com carinho  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que concedeu a clareza e saúde para mais esse passo na minha vida acadêmica. Aos meus pais que me educaram, me encorajaram a questionar o trivial e tanto abdicaram por mim, o meu muito obrigado. Minha esposa, companheira de tantos desafios, minha maior incentivadora e minha irmã, exemplo de dedicação e competência, à essas mulheres que me levam a ser um ser humano melhor, minha reverência.

Minha gratidão à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo ensino gratuito e de qualidade, e principalmente aos docentes que ministraram aulas de excelência ofertando aos alunos do curso conhecimento e caminhos para o aprofundamento nos assuntos apresentados durante este curso de característica multidisciplinar e integradora.

Meu muito obrigado a professora Beatriz Becker, orientadora deste trabalho, pela clareza com que conduziu esta orientação, pela tranquilidade e incentivo. Ao coorientador deste trabalho, professor Matheus de Barros, meus sinceros agradecimentos.

Meus agradecimentos também aos discentes desta turma, que colaboraram para o enriquecimento do curso compartilhando suas experiências nas respectivas áreas de conhecimento. Agradecimento especial ao colega Bruno Mothé pela pareceria.

Não poderia deixar de mencionar minha terapeuta Regina Eleutério, grande aliada na caminhada do autoconhecimento e do desenvolvimento da inteligência emocional.

## RESUMO

O abastecimento de água potável ainda é um desafio em diversas regiões do país, seja ele destinado ao consumo humano ou para usos industriais onde, por muitas vezes, o fornecimento por carro-pipa é a única alternativa viável. O presente trabalho apresenta a comparação dos custos de implantação e operação de três alternativas de abastecimento de água potável: por adutora, por carro-pipa movido à diesel e por carro-pipa elétrico, de modo a realizar uma análise preliminar para uma possível tomada de decisão. Dessa forma, para o trabalho, foi estabelecido um cenário fictício, baseado em experiências profissionais do autor, onde os parâmetros a serem considerados para o dimensionamento das alternativas propostas foram obtidos a partir de referências de outros projetos, de uma planilha disponibilizada por um fabricante de veículos de carga e de um simulador da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O simulador tem como finalidade original avaliar a possibilidade de substituição de ônibus movidos à diesel por elétricos e, portanto, mostrou-se viável para o objetivo proposto neste trabalho. Além disso, para o dimensionamento da alternativa de fornecimento de água potável por adutora, foi utilizada a fórmula de Hazen e Willians simulando possíveis combinações entre os diâmetros e os valores de coeficiente de atrito para não haver necessidade de bombeamento e o transporte da água se dê por gravidade. As três alternativas foram avaliadas e comparadas entre si a partir de uma análise de viabilidade econômica, considerando o Custo Anual Equivalente (CAE) como ferramenta de comparação entre as três alternativas apresentadas, onde o abastecimento por carro-pipa elétrico se apresentou como a alternativa mais economicamente viável para o cenário proposto.

Palavras-chave: Carro-pipa. Adutora. Veículo Elétrico.

## ABSTRACT

The potable water supply is still a challenge in several regions of the country, whether destined for human consumption or industrial uses where water-tank truck transportation is the only viable alternative. This assignment presents the comparison among the costs of the implementation and operation of three water transport alternatives: pipeline, diesel powered water-tank truck and electricity powered water-tank truck, in order to make a previous analysis and find a better decision among them. In this assignment, a fictional scenario was established, based on the author's professional experience and the parameters considered for dimensioning the proposed alternatives were withdrawn from other projects, from a spreadsheet provided by a cargo manufacturer and from a simulator provided by the Energy Research Company. The original purpose of this simulator is to evaluate the possibility of replacing diesel powered buses by electric vehicles, therefore it points to be viable to fulfill the purpose of this assignment. Besides, the sizing of the alternative for potable water supply through pipeline, the Hazen and Williams formula was used simulating possible combination of diameter and rubbing coefficient values so no pumping would be required, and the water transportation would occur by gravity. The three alternatives were evaluated and compared based on an economic viability analysis, considering "The Annual Cost of Equivalence" as a comparison among the three alternatives: The electricity-powered truck was pointed as the most economical alternative for the proposed scenario.

Key Words: Water-tank truck. Pipeline. Electric Vehicle

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ilustração do cenário de abastecimento proposto no presente trabalho.	22
Figura 2. Entrada de dados da Planilha para Análise de Custos do Transportador	25
Figura 3. Calibração dos resultados da Planilha para Análise de Custos do Transportador	25
Figura 4. Visualização do Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.	28
Figura 5. Planilha para Análise de Custos do Transportador preenchida com os dados da pesquisa e ajustada conforme orientações do simulador	32
Figura 6. Entrada de dados referentes ao regime de deslocamento do carro-pipa no Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.	33
Figura 7. Entrada de dados referentes ao custo das fontes de energia no Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.	33
Figura 8. Resultados dos valores de CAPEX e OPEX apresentados pelo Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.	34
Figura 9. Representação gráfica da progressão dos custos anuais de cada alternativa de abastecimento sem a adoção de ferramentas econômicas de correção dos valores em função do tempo.	37
Figura 10. Representação gráfica da progressão do custo anual equivalente das alternativas de abastecimento com relação a vida útil.	39
Figura 11. Apresentação gráfica da alternativa de abastecimento economicamente mais atrativa segundo os critérios adotados no trabalho	40

## LISTA DE TABELAS

Título	Página
Tabela 1 - Resumo dos custos de implantação e operação de cada alternativa de abastecimento. Fonte: Próprio autor,2020.	36
Tabela 2 - Progressão dos custos anuais de cada alternativa de abastecimento sem a adoção de ferramentas econômicas de correção dos valores em função do tempo. Fonte: Próprio autor, 2020.	36
Tabela 3 - Progressão do custo anual equivalente (CAE) das alternativas de abastecimento com relação a vida útil	38
Tabela 4 - Evolução do CAE de acordo com o crescimento do custo de capital inicial com destaque para o custo de capital inicial adotado para comparação entre as alternativas	40

## LISTA DE QUADROS

Título	Página
Quadro 1 - Componentes do balanço de demanda e disponibilidade entre a sede da empresa e ponto de abastecimento na filial.	22
Quadro 2 - Relação dos projetos de lançamento de adutores de água utilizados como fonte de pesquisa para determinação do percentual de participação do custo de material em empreendimentos desta natureza.	25
Quadro 3 - Detalhamento dos custos de operação do carro-pipa elétrico, com destaque a composição dos custos indiretos e o lucro referente a operação do serviço proposta	34
Quadro 4 - Redução das emissões atmosféricas calcula e apresentada no Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAE	Custo Anual Equivalente
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> ou Custo de Implantação
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
OCP	Operação Carro-Pipa
OMS	Organização da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i> ou Custo de Operação
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PVC	Cloreto de Polivinil

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL NO BRASIL	14
2.2 ADUTORAS DE ÁGUA POTÁVEL	16
2.3 ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL POR CARROS-PIPA	18
3. METODOLOGIA	20
3.1. DEFINIÇÃO DE CENÁRIO	20
3.2. ABASTECIMENTO POR ADUTORA	22
3.2.1. DIMENSIONAMENTO DA ADUTORA	22
3.2.2. LEVANTAMENTO DE CUSTOS DA ADUTORA	23
3.3. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR MOVIDO À DIESEL	24
3.4. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR ELÉTRICO	26
3.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. ABASTECIMENTO POR ADUTORA	30
4.2. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR MOVIDO A DIESEL	31
4.3. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR ELÉTRICO	33
4.4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	35
5. CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS	46

## 1. INTRODUÇÃO

A escala do crescimento econômico e populacional no mundo vem demandando cada vez mais recursos hídricos e, mesmo em países com notória abundância de água como o Brasil, a pressão sobre os mananciais está produzindo cenários alarmantes no aspecto do abastecimento público de água potável.

O impacto da utilização dos recursos hídricos para a condução, diluição e afastamento de esgotos se apresenta de maneira contundente na saúde pública e no bem-estar social, uma vez que a contaminação e, em níveis mais críticos, a eutrofização de cursos d'água repercute numa série de prejuízos à qualidade de vida da população circunvizinha. Outra forma de pressão sobre a disponibilidade dos recursos hídricos e, também, decorrente do crescimento econômico e populacional é o consumo de energia elétrica que, independente da tecnologia empregada à sua produção, assim como qualquer bem de consumo ou serviço, tem na água um dos seus principais insumos, sobremaneira as gerações de energia convencionais.

No Brasil, o direito de acesso à água é garantido pela Constituição Federal de 1988 e tem como finalidade priorizada o consumo humano, de acordo com a Lei nº 9.433/1997, conhecida como a Lei das Águas (BRASIL, 1997).

De dimensões continentais e com população concentrada em regiões proporcionalmente de menor oferta hídrica, o Brasil apresenta ainda déficit de infraestrutura de saneamento gerando índices insatisfatórios de abastecimento de água potável, além da cobertura deficiente de coleta de esgoto doméstico. Para citar dados mais recentes, 83,6% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada e 53% da população têm acesso à coleta de esgoto (Brasil, 2019). Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD (IBGE, 2010), 85% das casas brasileiras têm como fonte de água a rede geral de distribuição (sistema de abastecimento de água), porém há disparidades regionais, com estados como Rondônia, com 43,6% e São Paulo, com 96% de cobertura. Em relação ao abastecimento de água realizado por carro-pipa, dados do último CENSO realizado pelo IBGE indicaram que 696.866 dos domicílios brasileiros apresentam essa realidade (IBGE, 2010).

Diante dessa realidade, este trabalho tem por objetivo verificar, a partir de uma análise comparativa e com base nos aspectos econômicos, se o abastecimento de água com rede (adutora) é mais viável quando comparado a um cenário de fornecimento de água portátil por carros-pipa, a partir de um estudo de caso na cidade de Macaé/RJ.

## 1.1 OBJETIVOS

Analisar e comparar a viabilidade econômica do fornecimento de água por sistema alternativo coletivo com veículo automotor (carro-pipa) e por sistema com rede, num cenário hipotético na cidade de Macaé/RJ.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

- Levantar os custos necessários para o fornecimento de água potável por sistema alternativo coletivo e por sistema com rede (adutora), considerando aspectos como vazão de adução/extensão de rede;
- Verificar aspectos positivos e negativos no abastecimento por carro-pipa;
- Quantificar as emissões de gases de efeito estufa no transporte da água por carro-pipa movido à diesel.
- A partir da proposta de substituição de um carro-pipa movido a energia elétrica, levantar os custos associados a o retorno do investimento.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL NO BRASIL

A água é um dos recursos primordiais à vida, sendo importante para a realização das funções metabólicas do organismo vivo, manutenção do ciclo de vida na terra.

Dentre todos os elementos presentes na natureza, a água é o que aparece em maior abundância, tanto no meio ambiente como na composição corporal do homem. Essa afirmação apenas enfatiza o quanto essa substância é essencial a manutenção da vida na terra. Entretanto, durante muito tempo ela foi considerada um recurso inesgotável levando o homem a utilizá-la de forma desmedida, o que vem ocasionando uma crise hídrica em muitos lugares do planeta. (SOARES; BARBOSA,2020, pág.444).

Segundo Razzolini & Günther (2008), evidências científicas apontam a importância que há entre abastecimento de água potável e saúde humana. Os mecanismos adotados para o tratamento da água apresentam-se como condição de grande relevância para qualidade estabelecida por norma, principalmente em relação ao controle de patologias. Entretanto, é importante mencionarmos que, de forma isolada, a implantação e a promoção de sistemas de tratamento, embora importantes, acabam não sendo suficientes e capazes de garantir a qualidade da água ofertada à população. É fundamental que haja ações de controle e vigilância, medidas estruturais, instituição de marcos conceituais, regulatórios e institucionais, que possam atuar como normas de potabilidade garantindo segurança e qualidade da água distribuída.

A Organização das Nações Unidas (ONU) relatou em julho do ano de 2010, mediante a resolução A/RES/64/292, que seria direito do homem usufruir de água com qualidade, sendo essa potável e saudável para que o mesmo possa consumi-la. Esse recurso hídrico seria indispensável para o “pleno gozo do direito à vida” (NAÇÕES UNIDAS, 2010).

No Brasil, ainda existem 35 milhões de brasileiros sem acesso à água tratada e 100 milhões sem coleta de esgoto (Brasil, 2019). Ainda de acordo com esses levantamentos, boa parte das enfermidades nos países em desenvolvimento decorrem de águas não tratadas; seja de maneira direta, como a diarreia, ou indiretamente como a malária, dengue, febre amarela, e outras doenças relacionadas à veiculação hídrica. Partindo desse pressuposto, estima-se que os investimentos em água potável e, em saneamento básico no geral, podem contribuir para diminuir os índices da carga global de doenças, ou seja, na mortalidade prematura e anos

perdidos devidos a enfermidades que assolam a população (BEVILACQUA *et al.*, 2014). A Organização Mundial da Saúde (OMS) assevera que a falta de qualidade da água, a precariedades dos serviços de saneamento básico e a falta de higiene são fatores que predis põem o surgimento de doenças e são responsáveis por ocasionar o óbito de 200 pessoas/hora (BRASIL, 2015). Em 2018, os números do DATASUS informaram que 233 mil internações ocorreram por doenças de veiculação hídrica (cólera, amebíase, giardíase, dengue) (50% de 0 a 5 anos) (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018). Tais dados mostram que o Brasil é um país em que muitas pessoas vivem em situação de vulnerabilidade, expostas a essas doenças. A partir desses dados, é importante ressaltar que um dos benefícios da universalização do acesso aos serviços de saneamento básico seria a oferta de água com qualidade e, conseqüentemente, a eliminação de doenças de veiculação hídricas.

Nos últimos tempos, foram realizados diversos estudos epidemiológicos que demonstram fatores a serem melhorados se os recursos hídricos forem tratados e distribuídos adequadamente. Entre essas melhorias podem ser citadas a redução de taxa de mortalidade infantil, melhoria da qualidade de vida, entre outros benefícios à saúde.

Um estudo feito pelo Ministério das Cidades mostrou que no ano de 2016, num universo de 5.126 municípios brasileiros, com população urbana total de 172,1 milhões de habitantes (98,0% da população urbana nacional), a população atendida por rede de abastecimento de água é de 159,9 milhões de pessoas, ou seja, 93% do total de brasileiros. Segundo o próprio Diagnóstico, os números são bons, mas ainda representam 12,3 milhões de pessoas sem abastecimento por rede de água, em áreas urbanas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018). Entretanto, apesar desse aspecto positivo, sobretudo se houver comparação dos dados de coleta e tratamento de esgoto, é importante que haja maior conhecimento acerca de fatores de consumo de recursos hídricos potáveis, de forma a subsidiar o gerenciamento e planejamento diante desses recursos. É importante ressaltar o fato de que, apesar de os recursos hídricos serem considerados renováveis, o consumo crescente de água potável e a degradação dos corpos d'água pelo lançamento de poluentes favorece a escassez hídrica.

No Brasil, as normatizações quanto à água potável e potabilidade seguem os conceitos estabelecidos pela OMS, dispostas no '*Guidelines for Drinking Water Quality*'. O Decreto Federal nº 79.367, de 09 de março de 1977, confere ao Ministério da Saúde as competências necessárias para a criação, normas e padrões de potabilidade para o consumo humano (BRASIL, 1977).

Os conceitos atrelados à potabilidade referem-se ao fato de que os recursos hídricos destinados ao consumo humano possuam características que permitam à água ser inodora,

insipida e incolor. A criação da Portaria BSb nº 56, de 14 de março de 1977, se estabelece como precursora da legislação regulatória de potabilidade, um marco para a saúde pública no Brasil (BRASIL, 2012a). Atualmente, os critérios para definição dos padrões de potabilidade são estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017). Tal Portaria estabelece os limites máximos para as diversas características físicas, químicas e biológicas inerentes às águas para consumo.

## **2.2 ADUTORAS DE ÁGUA POTÁVEL**

Equipamentos de condução de água sob pressão, como as adutoras, são fundamentalmente um conjunto de tubulações, suas conexões, e acessórios como válvulas e ventosas, dotados ou não de componentes mecânicos de impulsionamento, como as motobombas (PORTO,2006).

Quando são abordados os projetos que envolvem o sistema de abastecimento, critérios racionais são extremamente valorizados, uma vez que obras de abastecimento de água envolvem uma grande quantidade de recursos financeiros. Na composição de um projeto de abastecimento é de fundamental importância a avaliação dos arranjos possíveis nas diferentes partes do sistema, considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos (GOMES, 2019). Os mananciais utilizados como fonte para sistemas de abastecimento de água se apresentam basicamente de duas formas: superficiais, como rios e lagos; e aquíferos subterrâneos. A escolha do manancial ocorre na fase de projeto onde serão avaliados diversos aspectos como: a disponibilidade hídrica, a qualidade da água, a distância ao ponto de consumo, altimetria, entre outros. Todos estes fatores impactam diretamente no projeto, na operação e na disponibilidade hídrica (TSUTIYA, 2013).

A cidade de São Paulo, por exemplo, mesmo repleta de cursos d'água, é mais viável captar água bruta de um manancial a mais de 100 km distância, como é feito atualmente, do que empregar um processo de tratamento de tecnologia capaz de remover os poluentes presentes nas águas dos mananciais mais próximos. Observando este exemplo é possível ter uma noção que o aspecto qualidade é de fundamental relevância na escolha do manancial e seus custos de operação (GOMES, 2019).

Após definido o manancial, é necessário instalar uma estrutura de engenharia responsável por retirar a vazão definida, em sua maioria, pelos órgãos ambientais estaduais e Comitês de Bacias Hidrográficas. Essa estrutura de captação retira água do manancial e a conduz à etapa seguinte, a Estação de Tratamento de Água, unidade cuja finalidade é converter a água captada (bruta) em água potável. Os reservatórios, por sua vez, são

integrantes dos sistemas de abastecimento de água e têm como função principal equilibrar as vazões de produção e consumo de água, uma vez que ambas acontecem de forma não linear, demandam durante o momento de parada de produção e servir como reserva para utilização em combate de incêndios (GOMES, 2019).

Para o transporte, tanto da água bruta captada quanto da água potável após tratamento, é utilizado um conjunto de equipamentos, sendo as adutoras o principal deles. As adutoras se dividem em dois tipos, por gravidade e por bombeamento, sendo o desnível ao longo do percurso o principal fator para definição do tipo a ser adotado. Para a instalação de uma adutora por gravidade é necessário que a energia hidráulica no ponto de origem seja superior à carga hidráulica no ponto do destino mais as perdas de carga associadas aos condutos e equipamentos que compõem a adutora. Para o dimensionamento de uma adutora por gravidade é necessário estabelecer a vazão de abastecimento requerido, o diâmetro da tubulação que irá conduzir a água e a perda de carga imposta pelo escoamento. Todavia, é de fundamental importância a atenção com a velocidade de escoamento que as características proporcionarão.

No cálculo hidráulico da adutora por gravidade, devem ser respeitadas as recomendações de velocidade máximas e mínimas da água que seriam, em termos práticos, 3,0 e 0,6 metros por segundo respectivamente. (GOMES,2019, pág. 150).

Por definição, uma adutora por recalque consiste em um conjunto de condutos que utilizam a força mecânica para condução do fluido até o ponto de abastecimento equipado basicamente pela tubulação de sucção, o conjunto mecânico composto por um motor e uma bomba, denominado moto-bomba e uma tubulação de recalque (SILVESTRE, 1982).

O cálculo do diâmetro de uma adutora por recalque ou bombeamento consiste basicamente no dimensionamento das tubulações de recalque e sucção e da potência do conjunto elevatório, para fornecer a energia necessária para o deslocamento da água. Entretanto, em função da representatividade nos custos totais de instalação, a tubulação de recalque recebe maior atenção que as outras duas componentes estudadas na fase de projeto. Já o dimensionamento hidráulico consiste em determinar a vazão, velocidade média de escoamento, diâmetro da tubulação e a perda de carga do sistema a partir da equação da continuidade e da perda de carga. Sendo a vazão uma informação já pré-determinada em projeto, restam três variáveis para duas equações, tornando necessário estipular o valor de uma delas: velocidade de escoamento, diâmetro da tubulação, dentre as disponíveis comercialmente, ou até mesmo definir uma perda de carga máxima para o sistema. Portanto, é

indicado que a metodologia mais adequada seja a introdução de um critério econômico, uma vez que os custos de implantação do projeto e operação se comportam de maneira inversamente proporcional com uma grande proporção, uma vez que a instalação de condutos de maior diâmetro estabelece uma relação inversa à perda de carga. Com isso, a avaliação dos custos de condutos de diâmetro se comparados com os custos operacionais, aumentados em sistemas dotados de maior perda de carga é bastante pertinente (GOMES, 2019).

O conceito de perda de carga, basicamente, consiste na dissipação de energia relacionada ao atrito do fluido em deslocamento com a superfície da tubulação e sua viscosidade (AZEVEDO NETO, 1999).

### **2.3 ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL POR CARROS-PIPA**

Segundo informações do estudo Secas no Brasil: política e gestão proativas (Banco Mundial, 2016), o fenômeno da seca e da estiagem fazem parte da rotina de boa parcela da população do Brasil, principalmente em locais do semiárido do Nordeste e região norte de Minas Gerais. A repetição deste fenômeno tem causado uma diminuição significativa na oferta de água doce e conseqüentemente na de água potável das populações que habitam estas regiões.

Diante desses cenários de seca, no qual tem feito parte das vidas de inúmeros indivíduos espalhados Brasil a fora, os órgãos governamentais devem atuar de maneira a fornecer água de qualidade para as pessoas. Nesse sentido, foi criado no Brasil o Programa de distribuição de água potável, tendo como elemento destaque o uso da Operação Carro-Pipa (OCP) como mecanismo que fornece água aos estados brasileiros que passaram pela seca, definido pela Portaria Interministerial nº 01/MI/MD (BRASIL, 2012b).

De acordo com a referida Portaria, a OCP foi um dos mecanismos complementares para realizar a distribuição de água potável para o consumo humano, sendo essa realizada através do uso de transporte terrestre denominado “carro-pipa”. As pessoas que vivem em áreas com escassez de água ou aquelas residentes em zona urbana ou rural que foram atingidas pela estiagem, sendo prioridade nas regiões com situação de emergência ou calamidade pública, devidamente reconhecida pelo Governo Federal serão abastecidas atendidas por este tipo de fornecimento (BRASIL, 2012b).

Para a promoção da OCP, as atividades que embasam a distribuição emergencial de água potável englobam a realização de levantamento de dados e informações sobre quais regiões precisam receber apoio do projeto, bem como se dará a disponibilização de recursos orçamentários e financeiros, o planejamento e a execução da logística de distribuição dos

recursos hídricos potáveis à população e a fiscalização da execução da Operação (BRASIL, 2012b; BRASIL,2019).

É importante destacar que a água distribuída pelos carros-pipa são recursos hídricos que visam suprir uma ausência momentânea de água para o consumo humano, principalmente em função dos períodos de estiagem, entretanto não é raro ter essa situação ocorrendo de forma rotineira como um dos únicos recursos para se levar água potável à população em algumas localidades. (SOARES; BARBOSA, 2020).

Os caminhões-pipa para abastecimento de água tratada e devem seguir as normatizações da Portaria Consolida nº 5 Anexo XX, estabelecido no Artigo 15, garantindo que a água distribuída seja potável (BRASIL, 2017). Dessa forma, a água que abastece os carros-pipa possui origem na ETA, passando por todos os processos de tratamento e, com isso, é potável para o consumo. Para a garantia dessa qualidade devem ser seguidos aspectos importantes estabelecidas pela Portaria (Art. 15).

- I - Garantir que tanques, válvulas e equipamentos dos veículos transportadores sejam apropriados e de uso exclusivo para o armazenamento e transporte de água potável;
- II - Manter registro com dados atualizados sobre o fornecedor e a fonte de água;
- III - manter registro atualizado das análises de controle da qualidade da água, previstos neste Anexo;
- IV - Assegurar que a água fornecida contenha um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L;
- V - Garantir que o veículo utilizado para fornecimento de água contenha, de forma visível, a inscrição "ÁGUA POTÁVEL" e os dados de endereço e telefone para contato. (BRASIL, 2017, pág.208).

Alguns locais se valem desse tipo de transporte para serem abastecidos por água potável, o que tem sido uma realidade constante. É notório que esse tipo de abastecimento é um recurso muito utilizado em regiões onde não há rede de água, pois geralmente estes locais são de difícil acesso ou distantes demais das redes de distribuição de água tratada. Nessas situações, abastecer essas localidades só é possível graças ao uso de carros-pipa e para abastecimento público (BRASIL, 2012b).

### 3. METODOLOGIA

Para o levantamento dos custos (instalação e manutenção de uma adutora de água potável, de operação do serviço de transporte de água via carro-pipa movido à diesel) em um cenário hipotético, serão realizadas pesquisas em estudos e projetos já consolidados.

A análise de substituição da frota dos carros-pipa por veículos movidos a energia elétrica, bem como os custos serão comparados a partir de um simulador desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), elaborado para ônibus urbanos, mas que neste trabalho será empregado para caminhões.

#### 3.1. DEFINIÇÃO DE CENÁRIO

Para o desenvolvimento do estudo comparativo de viabilidade e custos do fornecimento de água por sistema alternativo coletivo sem rede por veículo automotor (carros-pipa) e por sistema com rede, será estabelecido um cenário hipotético, cujo objetivo é fornecer um contexto prático, que facilite o entendimento, definindo os números utilizados como base de dados.

Neste cenário hipotético foi considerado, a partir de uma indústria alimentícia sede, uma proposta de filial, a ser localizada também na cidade de Macaé-RJ onde a concessionária de abastecimento de água local não fornece água potável para suas operações. Diante deste fato, considerou-se a já existente solução alternativa coletiva de abastecimento na indústria sede, onde também foi instalada uma unidade de tratamento de água, para converter a água bruta captada do rio em água dentro dos padrões de potabilidade, ou seja, apta para o consumo humano, uma vez que a água é utilizada não somente para o setor fabril, mas também para consumo humano em suas dependências. A unidade de tratamento é composta pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Como a água é um insumo fundamental para a indústria, optou-se por uma estação de grande capacidade de produção, se comparada com a demanda, 50 m<sup>3</sup> por hora, o que possibilita menores períodos de operação, expansão das linhas fabris sem a necessidade de ampliação da estrutura de produção de água, além de ter a possibilidade de abastecer uma filial da empresa que se encontra em fase de projeto.

O manancial escolhido como fonte de água bruta para abastecer o a indústria alimentícia sede foi o Rio Macaé, um rio perene, classe II, segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005). A outorga obtida foi de 18 litros por segundo, garantindo com

grande margem oferta suficiente para suprir mais que o dobro da demanda de água da indústria, que em plena operação requer o volume de 225 m<sup>3</sup> de água potável por dia.

A filial da empresa, objeto de estudo deste trabalho, será instalada distante 16 quilômetros da sede (matriz) (Figura 1) e entrará em operação sob a condição de indisponibilidade de abastecimento por parte da concessionária local, conforme já citado, porém como uma demanda inferior, 140m<sup>3</sup> de água potável por dia, ficando estabelecido que a sede produzirá a água potável requerida por sua filial. Entretanto, ainda será definida a forma de condução da água entre as unidades.

Considerando um momento decisório para a alta administração da empresa, serão desenvolvidas três alternativas de abastecimento para identificar a solução que melhor se encaixa no cenário proposto: lançamento de uma adutora, abastecimento de água por carro-pipa movido à diesel e abastecimento de água por carro-pipa elétrico.

Quadro 1 - Componentes do balanço de demanda e disponibilidade entre a sede da empresa e ponto de abastecimento na filial.

<b>Panorama Hídrico dos Empreendimentos</b>			
	Sede	Filial	Total
Outorga de captação (L/s)	18	0	0
Capacidade de produção (m <sup>3</sup> /h)	50	0	0
Demanda (m <sup>3</sup> /dia)	225	140	365
Tempo de captação necessário (h/dia)*	3,7	2,3	5,9
Tempo de produção necessário (h/dia)**	4,5	2,8	7,3

Fonte: Próprio autor, 2020.

\*Considerado perda de 5% da água bruta durante o processo de captação e adução.

\*\*Considerado perda de 10% da água durante a remoção dos rejeitos produzidos durante o tratamento.

Diante da finalidade do estudo, que trata de uma comparação entre as alternativas de abastecimento levantadas, abaixo são estabelecidas algumas premissas com intuito de equalizar o desenvolvimento das alternativas:

- Serão considerados os custos relacionados ao transporte da água via carro-pipa, desconsiderando o valor da água tratada;
- Para efeitos de dimensionamento da adutora, serão consideradas apenas as instalações necessárias para a condução da água a partir do seu ponto de oferta
- Para efeitos de dimensionamento serão consideradas as seguintes cotas: Ponto de oferta de água (sede), 35 metros e o ponto de abastecimento (filial), 7 metros.

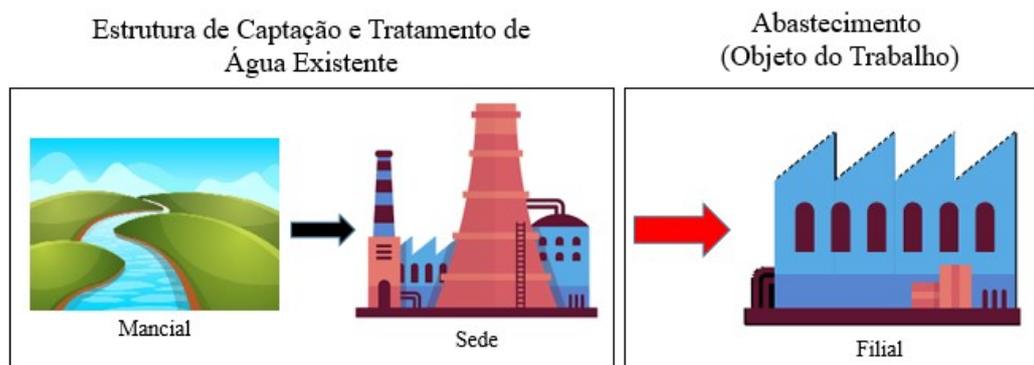


Figura 1. Ilustração do cenário de abastecimento proposto no presente trabalho.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

### 3.2. ABASTECIMENTO POR ADUTORA

Conforme disposto no cenário proposto, a diferença de cota entre o ponto de produção da água potável na sede da empresa e o ponto de consumo na filial permitem que seja empregado o abastecimento por gravidade.

A orçamentação de uma obra para o lançamento de uma adutora envolve um processo com critérios específicos relacionados ao local, à tecnologia empregada, ao diâmetro e material dos condutos, métodos construtivos, entre outros. Como forma de simplificação, uma vez que se trata de uma avaliação de um cenário hipotético e, principalmente preliminar, como um instrumento para composição de um estudo de viabilidade técnica e econômica, proposto para criticar de forma não aprofundada, a prática de transporte de água por veículo automotor, utilizada em grande escala no país.

#### 3.2.1. DIMENSIONAMENTO DA ADUTORA

A adutora proposta para o cenário hipotético foi dimensionada a partir da fórmula de Hazen e Willians, desenvolvida através de ensaios experimentais em tubos de diâmetros e vazões superiores a 75 mm e 3 L/s, respectivamente, e avaliações estatísticas de seus resultados. Tal fórmula é considerada aplicável ao dimensionamento de condutos pressurizados entre 50 e 3500 mm de diâmetros, de qualquer tipo de conduto e material (AZEVEDO NETO; MARTINIANO, 1999).

$$J = 10,643 Q^{1,85} C^{-1,85} D^{-4,87} \quad (1)$$

Onde:

J = perda de carga unitária, m/m;

Q = Vazão, m<sup>3</sup>/s;

D = Diâmetro, m;

C = coeficiente de atrito;

Serão realizadas simulações das possíveis combinações entre os valores de diâmetros e coeficientes “C” encontrados para as tubulações comercialmente disponíveis para que o transporte da água seja feito sem a necessidade de estações de bombeamento, ou seja, com escoamento por gravidade. O material escolhido para o conduto foi o cloreto de polivinil (PVC), largamente utilizado nas tubulações de abastecimento de água por se tratar de um material de baixa rugosidade às tubulações (se comparado a outros materiais), grande capacidade de resistência à corrosão e seu baixo peso.

As perdas de carga localizadas atribuídas aos acessórios que precisam compor a adutora foram desconsideradas pois os mesmos seriam detalhados em um futuro projeto executivo, tendo suas eventuais perdas compensadas por ajustes no tempo de operação diário do sistema.

### **3.2.2. LEVANTAMENTO DE CUSTOS DA ADUTORA**

Para levantamento dos custos de implantação da adutora, seria necessária a verificação detalhada das fases de implantação de um projeto executivo da obra. Entretanto, como o objetivo deste trabalho é estabelecer a verificação preliminar do custo de implantação, foi realizada uma pesquisa da composição dos custos praticados a cada fase em obras de natureza similar a partir da planilha orçamentária de três projetos. Esses três projetos escolhidos como referência apresentaram uma média aritmética do custo dos materiais empregados de 54,6% do custo total do empreendimento, valor utilizado neste trabalho para o cálculo do custo de implantação da adutora.

Quadro 2 - Relação dos projetos de lançamento de adutores de água utilizados como fonte de pesquisa para determinação do percentual de participação do custo de material em empreendimentos desta natureza.

<b>Participação do custo de material em projetos de construção de adutoras</b>		
<b>Órgão</b>	<b>Projeto</b>	<b>Participação</b>
SAEMA - Serviço de Água, Esgoto e Meio Ambiente do Município de Araras	Adutora H.O. - ETA	47,2%
C A G E P A - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba	Adutora de Emergência para Reforço do SAA	55,6%
Governo do Estado do Ceará	Projeto Básico e Executivo do Sistema Adutor de Quiterianópolis	61,2%
Média		54,6%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### **3.3. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR MOVIDO À DIESEL**

Para avaliação da alternativa em realizar o transporte de água entre as duas unidades por rodovia, serão considerados valores de mercado e, para a composição dos custos, serão consideradas as seguintes variáveis: valor do veículo e custos de transporte.

Através de pesquisa do valor de um caminhão novo dotado de tanque próprio para o transporte de água potável, com capacidade de 20.000 litros, concluiu-se que 250 mil reais seriam suficientes para a aquisição do veículo capaz de atender à necessidade.

O custo de transporte foi obtido através da planilha disponibilizada pela fabricante de caminhões Scania<sup>1</sup> (Figura 2), que permite obter o valor ideal do frete, considerando os custos de manutenção, pneus e combustível, atribuindo ao “resultado” os demais custos e o lucro. Para avaliação deste cenário hipotético, a distribuição dos percentuais dos custos com combustível, pneus, manutenção e resultado, que é realizada a partir do ajuste do valor cobrado pelo frete, foi ajustada ao perfil de custo indicado como o ideal no simulador (Figura 3).

---

<sup>1</sup> Disponível em:

<https://blogwlmSCANIA.itaipumg.com.br/como-calculer-o-custo-do-km-rodado-de-um-caminhao-passo-a-passo/>

## Planilha para Análise de Custos do Transportador

\* Observação: foram destacados os custos com Combustível, Pneus e Manutenção por serem diretamente ligadas à condução no veículo.

Entrada de dados		Preencha os campos em amarelo			
Item	Unid.	Valor			Valor Total
A. Frete por tonelada transportada	R\$/ton.	R\$ 41,00			R\$ 41,00
B. Carga transportada	ton	35			35
		Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	
C. Consumo médio de combustível	Km/l	2,00			2,00
D. Custo do combustível	R\$/l	3,794			3,794
E. Distância percorrida	Km	300			300
Valor do frete (A x B)	R\$				1.435,00

Resultado: Distribuição dos custos			
Item	Valor R\$	Calculado	Valor Ideal
Custo com Combustível	569,10	40%	<= 40%
Custo desgaste de pneus	71,14	5%	<= 5%
Custo com Manutenção	113,82	8%	<= 8%
Resultado da Viagem	680,94	47%	>= 47%

Figura 2. Entrada de dados da Planilha para Análise de Custos do Transportador  
Fonte: Grupo WLM - Concessionárias Scania, 2017

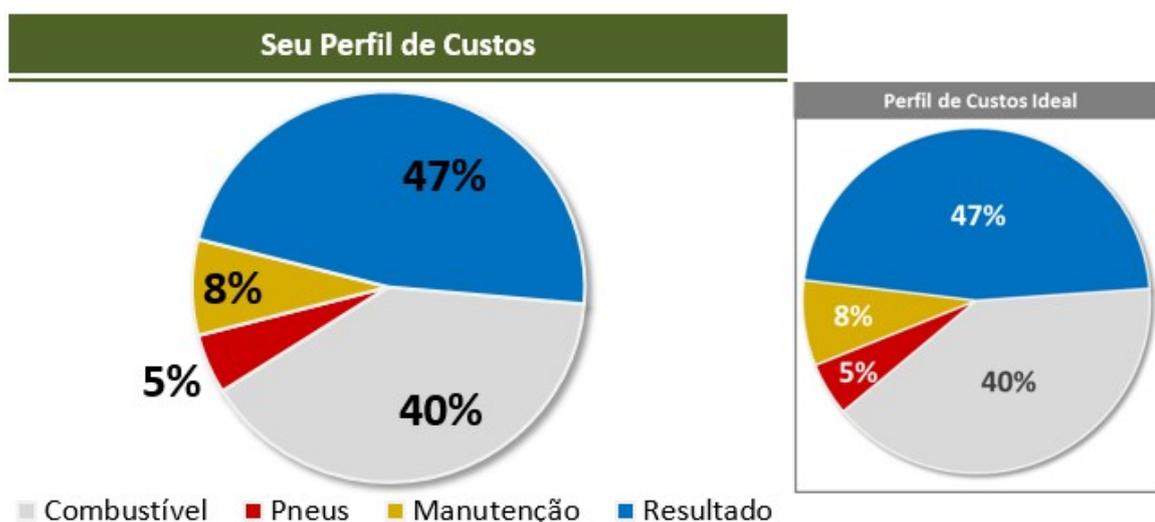


Figura 3. Calibração dos resultados da Planilha para Análise de Custos do Transportador  
Fonte: Grupo WLM - Concessionárias Scania, 2017

Além disso, para se obter o custo de operação diário do carro-pipa movido à diesel, considerou-se os seguintes valores:

- Carga transportada: 20 toneladas, considerando a densidade da água potável  $1\text{Kg}/\text{m}^3$ ;

- Custo do diesel: 3,794 reais por litro, de acordo com valores verificados na cidade de Macaé-RJ em fevereiro de 2020;
- Consumo médio de combustível: 2 quilômetros por litro de diesel.

### 3.4. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR ELÉTRICO

Tendo em vista que a queima de combustíveis fósseis contribui negativamente para o meio ambiente, em especial à poluição do ar, é levantada uma alternativa de utilização ao carro-pipa movido à diesel, considerando a adoção de um veículo de operação similar, porém movido à energia elétrica. Levando também em consideração a relevância dos aspectos relacionados à geração de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis, o que colocaria em questão até o levantamento desta alternativa, é estabelecido que a energia elétrica a ser utilizada seria proveniente de tecnologias limpas.

O tipo de veículo a ser considerado é o que utiliza baterias para armazenamento da energia que possam ser recarregadas a partir do *plug-in* na rede elétrica ou a outra fonte de geração descentralizada. As principais vantagens e desvantagens deste modelo, segundo Iwan *et. al*, 2014 (apud ASSUMPÇÃO, 2016), são: redução do peso através da eliminação de componentes presentes em um veículo convencional como caixa de câmbio e embreagem; não emite gases durante o seu funcionamento; poluição sonora praticamente nula; fácil operação, possibilidade de ser carregado em uma tomada elétrica de fácil instalação como vantagens. E longo tempo necessário para reabastecimento das baterias, grande peso das baterias, elevado custo de aquisição do equipamento e principalmente de baterias de melhor performance quanto ao tempo de recarga, baixa autonomia e baixo limite de velocidade como desvantagens.

Para realizar a avaliação da alternativa de transporte da água utilizando carro-pipa movido a energia elétrica, no cenário proposto, foi utilizado o material “Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico” proposto pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e cujo objetivo é identificar as principais variáveis da alternativa e avaliar a sua viabilidade técnico-econômica.

O simulador tem como dados de entrada (*input*) basicamente as mesmas informações utilizadas para o dimensionamento dos custos de aquisição e operação do carro-pipa movido a diesel e entende-se que as condições apresentadas no simulador são proporcionais tanto para ônibus quanto para caminhões (Figura 4. Visualização do Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico).

). As instruções para utilização do simulados (Anexo-A) e a metodologia (Anexo-B) estão apresentadas sob a forma de anexos.

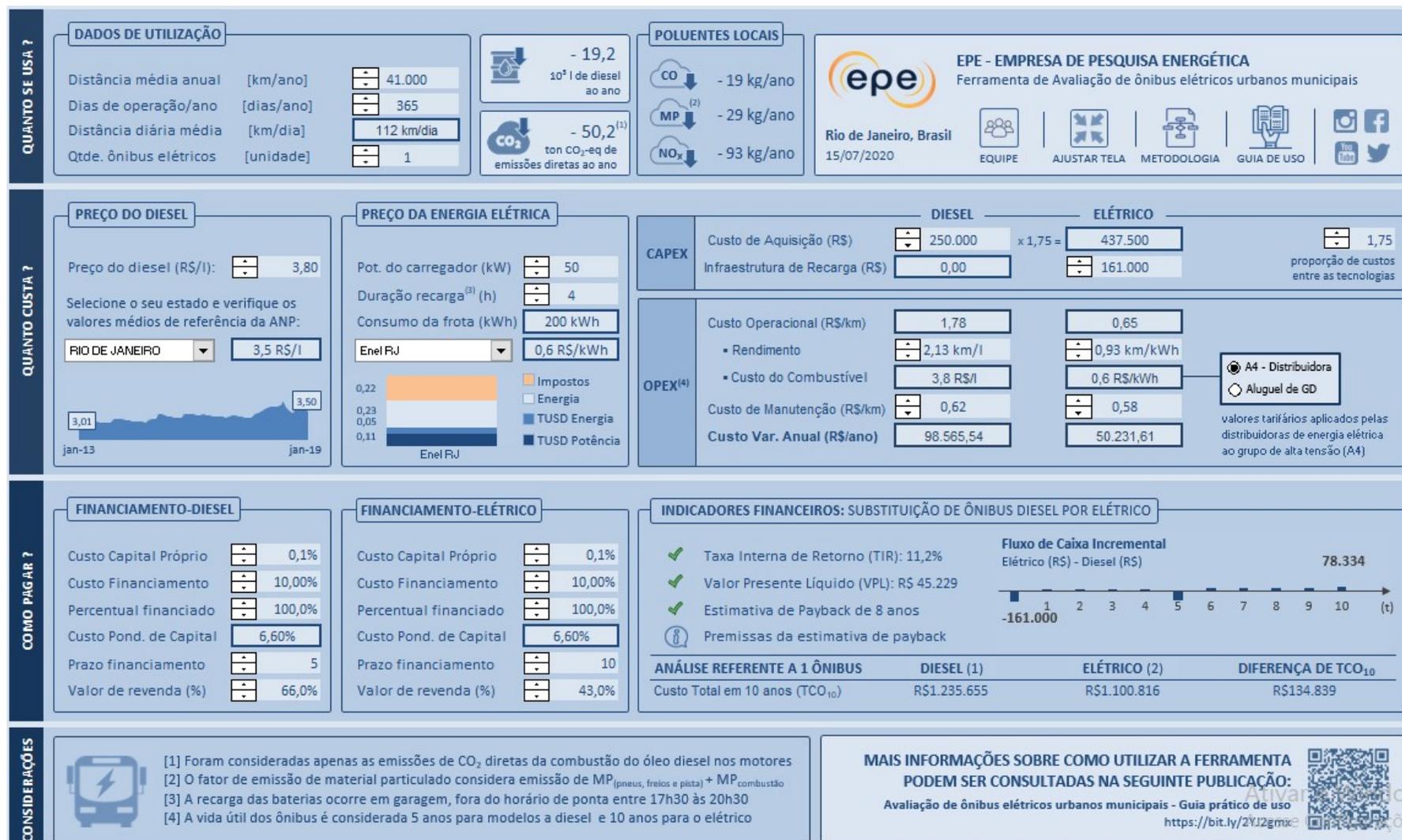


Figura 4. Visualização do Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.

Fonte: EPE Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

### 3.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para comparação dos custos envolvidos entre as alternativas levantadas foi utilizada a metodologia de determinação do custo anual equivalente. Esta ferramenta é empregada na comparação das possíveis formas de realização de um determinado serviço que pode ser prestado de formas distintas e também em empreendimentos onde não há retorno financeiro quantificável, como obras de natureza pública como as de abastecimento de água. Esta ferramenta pode ser utilizada para transformar os fluxos de caixa em anualidades (SAMANEZ, 2002).

$$CAE = \frac{Inv}{\left[ \frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n + k} \right]} \quad (2)$$

Onde:

CAE = Custo anual equivalente;

Inv = Investimento inicial;

k = Custo de capital inicial ou taxa mínima atrativa ou custo de oportunidade;

n = Vida útil;

Para simplificar a análise econômica, dois tipos de custos serão abordados, o *Capital Expenditure* ou Custo de Implantação (CAPEX), que representa o valor das despesas e investimentos em bens de capital, o investimento inicial que é necessário para infraestrutura dos projetos. E também o *Operational Expenditure* ou Custo de Operação (OPEX), ou seja, os custos e despesas operacionais, um valor distribuído ao longo da vida útil do projeto, necessário para mantê-lo em operação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ABASTECIMENTO POR ADUTORA

Para o dimensionamento da adutora, foram realizadas simulações com diferentes combinações entre os diâmetros comerciais e os diferentes coeficientes “C” disponíveis para tubos de PVC, aplicados na fórmula de Hazen e Williams. A finalidade destas simulações foi estabelecer um diâmetro tal que conferisse uma perda de carga ao escoamento de forma que o abastecimento por gravidade, a partir do desnível presente no cenário proposto.

Considerado o custo aproximado de um tubo de PVC soldável com 6 metros de comprimento, 120 milímetros de diâmetro, menor diâmetro comercial que atenderia as condições para o abastecimento por gravidade, e classe de pressão compatível com a pressão de trabalho da adutora, que é de R\$ 400,00, além de um fator multiplicador de 10% para compor o custo adicional, representado pelos acessórios necessários. A partir das simulações das possíveis combinações entre os valores de diâmetros e coeficientes “C” encontrados para as tubulações comercialmente disponíveis para que o transporte da água seja feito sem a necessidade de estações de bombeamento, ou seja, com escoamento por gravidade, foi adotado um “C” de 150.

De acordo com os valores apresentados temos:

$$Q = 140 \text{ m}^3/\text{dia} \implies 17,5 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (tempo de operação 8 horas por dia);}$$

$$D = 120\text{mm} \implies 0,12 \text{ m;}$$

$$C = 150;$$

$$J = 10,643 Q^{1,85} C^{-1,85} D^{-4,87}$$

obtendo um valor de 0,001610492 m/m para “J”.

Considerando os 16 quilômetros, que compreendem toda a extensão da adutora, a perda de carga total de 25,77 metros, inferior aos 27 metros de desnível entre o ponto de produção (sede) e o de consumo da água (filial).

Considerando os 16 mil metros de rede, o custo de material calculado foi de R\$ 1.173.333,33, já considerando o incremento relativo aos acessórios da adutora e aplicando o fator de 54,6%, proporcional ao custo total do empreendimento, conforme os três projetos mencionados no item 3.2 da Metodologia. O custo total CAPEX encontrado foi de R\$ 2.147.221,54. Para o custo de OPEX, considera-se que este valor vai tender a zero, uma vez

que se trata de um material de baixo custo de reparo e este custo poderia ser absorvido aos custos de manutenção corretiva da indústria sem impactos.

#### **4.2. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR MOVIDO A DIESEL**

Para a obtenção dos custos de abastecimento por carro-pipa movido à diesel, o trajeto a ser percorrido pelo veículo foi igual à distância entre as duas instalações, que é de 16 quilômetros multiplicado por sete, número de viagens necessárias para suprir a demanda diária por água da filial da empresa. A partir destes valores foi ajustado o frete por tonelada transportada, até que a distribuição dos percentuais de custos com combustível, pneus e manutenção, além do resultado compreendido como o somatório dos custos adjacentes e do lucro com o transporte, se equiparassem ao indicado como perfil de custo ideal pelo simulador.

A partir dos valores considerados no item 3.3 da Metodologia, chegou-se a um custo de operação diário de 540 reais (Figura 5).

Item	Unid.	Valor			Valor Total
A. Frete por tonelada transportada	R\$/ton.	R\$ 27,00			R\$ 27,00
B. Carga transportada	ton	20			20
		Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	
C. Consumo médio de combustível	Km/l	2,00			2,00
D. Custo do combustível	R\$/l	3,794			3,794
E. Distância percorrida	Km	112			112
Valor do frete (A x B)	R\$				540,00

Resultado: Distribuição dos custos			
Item	Valor R\$	Calculado	Valor Ideal
Custo com Combustível	212,46	39%	<= 40%
Custo desgaste de pneus	26,56	5%	<= 5%
Custo com Manutenção	42,49	8%	<= 8%
Resultado da Viagem	258,49	48%	>= 47%

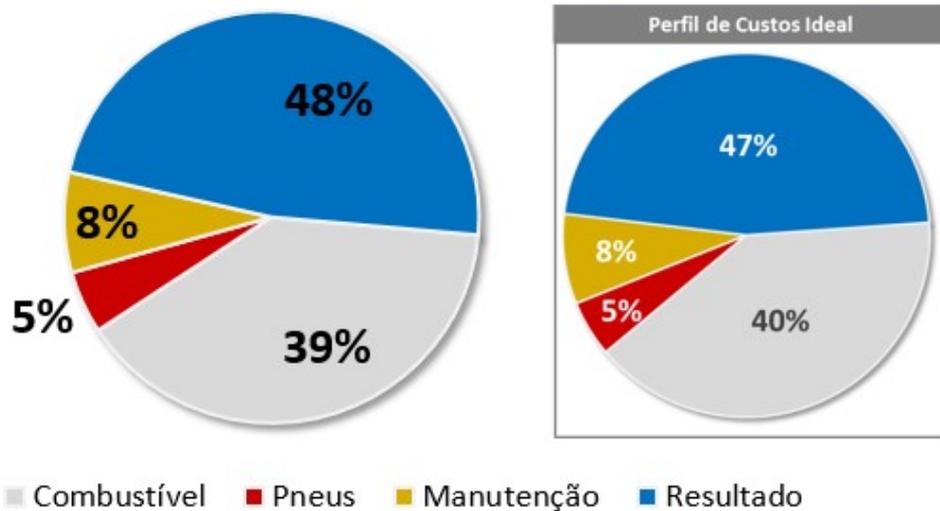


Figura 5. Planilha para Análise de Custos do Transportador preenchida com os dados da pesquisa e ajustada conforme orientações do simulador

Fonte: Grupo WLM - Concessionárias Scania, 2019.

Não foram considerados os custos relativos à especificidade da carga transportada, como licenças especiais e comprovação de higienização do reservatório de veículo utilizado para comportar a água potável. De acordo com o produto da planilha, obtém-se o valor anual de OPEX de R\$ 197.100,00 (R\$ 540,00 x 365 dias) e o valor de CAPEX é representado pelo custo de aquisição do caminhão, R\$ 250.000,00.

### 4.3. ABASTECIMENTO POR VEÍCULO AUTOMOTOR ELÉTRICO

Primeiramente, é definido o regime de operação de transporte, conforme apresentado na Figura 6.

DADOS DE UTILIZAÇÃO		
Distância média anual	[km/ano]	41.000
Dias de operação/ano	[dias/ano]	365
Distância diária média	[km/dia]	112 km/dia
Qtde. ônibus elétricos	[unidade]	1

Figura 6. Entrada de dados referentes ao regime de deslocamento do carro-pipa no Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019)

Em seguida, é calibrado o custo das fontes de energia de acordo com o valor sugerido em função das regiões do país ou informado pelo usuário, no caso do valor do diesel (Figura 7).

#### PREÇO DO DIESEL

Preço do diesel (R\$/l): 3,80

Selecione o seu estado e verifique os valores médios de referência da ANP:

RIO DE JANEIRO 3,5 R\$/l

3,01 (jan-13) 3,50 (jan-19)

#### PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA

Pot. do carregador (kW) 50

Duração recarga<sup>(3)</sup> (h) 4

Consumo da frota (kWh) 200 kWh

Enel RJ 0,6 R\$/kWh

0,22 Impostos  
0,23 Energia  
0,05 TUSD Energia  
0,11 TUSD Potência

Enel RJ

Figura 7. Entrada de dados referentes ao custo das fontes de energia no Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019)

Na sequência, a partir do valor de aquisição do veículo a diesel é atribuído um fator, neste caso, utilizado o parâmetro padrão do simulador, denominado “proporção de custos entre as tecnologias”, que tem como objetivo estabelecer a relação ente o custo de aquisição do veículo, o CAPEX, movido a diesel e o elétrico. O cálculo do custo de operação e manutenção, OPEX, tem como entrada o rendimento do veículo a diesel em quilômetros percorridos por litro de combustível. Entretanto, esta informação foi suprimida e foram adotados os valores indicados no dimensionamento do carro-pipa movido a diesel.

Especificamente do simulador da EPE foram obtidos os dados de CAPEX e OPEX para composição da comparação (Figura 8). Porém, a ferramenta não tem a finalidade de estabelecer os custos de mão-de-obra do transporte e sim avaliar uma possível substituição do tipo de veículo. Desta forma para a composição dos custos de transporte, foi inserido ao valor de OPEX, obtido no simulador da EPE, os valores apresentados como, “resultados da viagem” na planilha utilizada para composição dos custos do veículo a diesel (Figura 5). Desta forma, os dimensionamentos de ambas as alternativas ficam equipados quanto aos seus custos de operação referente ao lucro do eventual executor do serviço.

		DIESEL		ELÉTRICO			
CAPEX	Custo de Aquisição (R\$)	250.000	x 1,75 =	437.500			1,75
	Infraestrutura de Recarga (R\$)	0,00		161.000			proporção de custos entre as tecnologias
OPEX <sup>(4)</sup>	Custo Operacional (R\$/km)	1,78		0,65			
	▪ Rendimento	2,13 km/l		0,93 km/kWh			
	▪ Custo do Combustível	3,8 R\$/l		0,6 R\$/kWh			<input checked="" type="radio"/> A4 - Distribuidora
	Custo de Manutenção (R\$/km)	0,62		0,58			<input type="radio"/> Aluguel de GD
	Custo Var. Anual (R\$/ano)	98.565,54		50.231,61			valores tarifários aplicados pelas distribuidoras de energia elétrica ao grupo de alta tensão (A4)

Figura 8. Resultados dos valores de CAPEX e OPEX apresentados pelo Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019)

Quadro 3 - Detalhamento dos custos de operação do carro-pipa elétrico, com destaque a composição dos custos indiretos e o lucro referente a operação do serviço proposto.

Composição dos custos de operação do veículo elétrico				
Custos			Veículo Diesel	Veículo elétrico
OPEX	Custos diretos	Custo com combustível	R\$ 77.547,90	R\$ 50.231,61
		Custo desgaste de pneus	R\$ 9.694,40	
		Custo com manutenção	R\$ 15.508,85	
	Custos indiretos + Lucro	Resultado da viagem	R\$ 94.348,85	R\$ 94.348,85
Total			R\$ 197.100,00	R\$ 144.580,46

Valor replicado da composição de custos de operação do veículo a diesel.

Fonte: Próprio autor, 2020.

Os custos associados ao veículo à diesel apresentados neste simulador foram desconsiderados pelo fato de já terem sido abordados anteriormente em simulação própria.

Desta forma, o valor de CAPEX para o veículo elétrico foi obtido através da aplicação da proporção de custos entre as tecnologias apresentada como *default* pelo simulador, 1,75, e o valor atribuído ao veículo diesel, R\$ 250.000,00, obtendo o valor de R\$ 437.500,00. Já o OPEX, conforme apresentado no Quadro 3, ficou em R\$ 144.580,46.

Outro fato apresentado no simulador, de relevância possivelmente superior aos aspectos econômicos, foi o ganho relacionado à queima de combustíveis fósseis e consequentemente à redução na emissão de poluentes, conforme apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Redução das emissões atmosféricas calcula e apresentada no Simulador para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico.

<b>Redução na poluição atmosférica com a adoção de veículo elétrico</b>	
<b>Poluente</b>	<b>Quantidade</b>
Consumo de diesel (L)	19200
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	50200
Emissão de CO (kg)	19
Emissão de NOx (kg)	29
Emissão de material particulado (kg)	93

Fonte: Próprio autor, 2020.

#### 4.4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Diante dos custos de implantação e operação obtidos para cada alternativa levantada, é possível observar grande disparidade entre os valores relacionados às duas opções de transporte rodoviário e à opção por lançamento de adutora. Esta diferença se dá de acordo com a natureza das soluções apresentadas. As duas primeiras consistem em aquisição de equipamento para realização de determinada tarefa, onde os custos de trabalho realizado são distribuídos ao longo da sua vida útil, mas principalmente diretamente associado aos insumos, no caso a energia, necessários para o seu funcionamento. Já a terceira, instalação de adutora, é uma obra de infraestrutura, uma obra de engenharia com uma finalidade específica, com necessidade grande aporte financeiro para sua realização, se comparada com as demais opções levantadas, porém seu custo de operação é praticamente zero por estar relacionado somente a manutenção de sua integridade (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo dos custos de implantação e operação de cada alternativa de abastecimento

<b>Custos de implantação e operação</b>			
<b>Investimento</b>	<b>Adutora</b>	<b>Diesel</b>	<b>Elétrico</b>
CAPEX	R\$ 2.147.221,54	R\$ 250.000,00	R\$ 437.500,00
OPEX	R\$ -	R\$ 197.100,00	R\$ 144.580,46

Fonte: Próprio autor, 2020.

Com a soma do valor do CAPEX e do OPEX ao longo dos anos (Tabela 2 e Figura 9), é possível observar que há uma alternância entre as opções mais econômicas ao longo do tempo. Todavia, esta avaliação é economicamente imprecisa, pois não considera o custo de oportunidade de cada uma das opções, como na avaliação realizada com a observação do custo anual equivalente.

Tabela 2 - Progressão dos custos anuais de cada alternativa de abastecimento sem a adoção de ferramentas econômicas de correção dos valores em função do tempo

<b>Somatório simples dos custos anuais de cada alternativa</b>			
<b>Ano</b>	<b>Adutora</b>	<b>Diesel</b>	<b>Elétrico</b>
1	R\$ 2.147.221,54	R\$ 447.100,00	R\$ 582.080,46
2	R\$ 2.147.221,54	R\$ 644.200,00	R\$ 726.660,92
3	R\$ 2.147.221,54	R\$ 841.300,00	R\$ 871.241,38
4	R\$ 2.147.221,54	R\$ 1.038.400,00	R\$ 1.015.821,84
5	R\$ 2.147.221,54	R\$ 1.235.500,00	R\$ 1.160.402,30
6	R\$ 2.147.221,54	R\$ 1.432.600,00	R\$ 1.304.982,76
7	R\$ 2.147.221,54	R\$ 1.629.700,00	R\$ 1.449.563,22
8	R\$ 2.147.221,54	R\$ 1.826.800,00	R\$ 1.594.143,68
9	R\$ 2.147.221,54	R\$ 2.023.900,00	R\$ 1.738.724,14
10	R\$ 2.147.221,54	R\$ 2.221.000,00	R\$ 1.883.304,60
11	R\$ 2.147.221,54	R\$ 2.418.100,00	R\$ 2.027.885,06
12	R\$ 2.147.221,54	R\$ 2.615.200,00	R\$ 2.172.465,52
13	R\$ 2.147.221,54	R\$ 2.812.300,00	R\$ 2.317.045,98
14	R\$ 2.147.221,54	R\$ 3.009.400,00	R\$ 2.461.626,44
15	R\$ 2.147.221,54	R\$ 3.206.500,00	R\$ 2.606.206,90
16	R\$ 2.147.221,54	R\$ 3.403.600,00	R\$ 2.750.787,36
17	R\$ 2.147.221,54	R\$ 3.600.700,00	R\$ 2.895.367,82
18	R\$ 2.147.221,54	R\$ 3.797.800,00	R\$ 3.039.948,28
19	R\$ 2.147.221,54	R\$ 3.994.900,00	R\$ 3.184.528,74
20	R\$ 2.147.221,54	R\$ 4.192.000,00	R\$ 3.329.109,20

 Alternativa aparentemente mais econômica.

Fonte: Próprio autor, 2020.

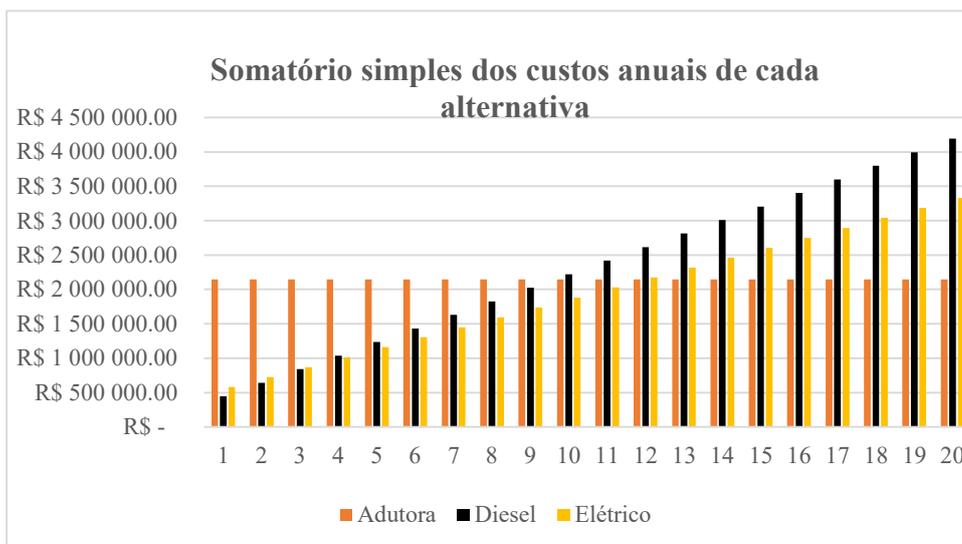


Figura 9. Representação gráfica da progressão dos custos anuais de cada alternativa de abastecimento sem a adoção de ferramentas econômicas de correção dos valores em função do tempo.

Fonte: Próprio autor, 2020.

Na Tabela 3 é apresentada a relação entre o Custo Anual Equivalente (CAE) e sua evolução a partir da progressão da vida útil de cada uma das alternativas de abastecimento, considerando um custo de oportunidade ou custo de capital inicial de 10%.

Entendendo que não há um equilíbrio entre a vida útil de cada opção levantada, sendo o lançamento de uma adutora uma solução mais durável às que adotam deslocamento rodoviário como meio de transporte da água. Para evolução comparativa foi adotada a vida útil de vinte anos para a alternativa de condução por adutora e dez anos para as de transporte rodoviário. A partir dos valores da Tabela 3 e da Figura 10, é possível observar que, apesar da opção de transporte por adutora seja economicamente a mais atrativa, sua vida útil deverá ser de 57 anos se as opções de abastecimento por carro-pipa movido a diesel e elétrico permanecerem em 10 anos.

Tabela 3 - Progressão do custo anual equivalente (CAE) das alternativas de abastecimento com relação a vida útil

<b>Evolução do CAE em função da vida útil do projeto</b>			
<b>Ano</b>	<b>Adutora</b>	<b>Diesel</b>	<b>Elétrico</b>
1	R\$ 2.361.943,69	R\$ 472.100,00	R\$ 625.830,46
2	R\$ 1.237.208,60	R\$ 341.147,62	R\$ 396.663,79
3	R\$ 863.429,57	R\$ 297.628,70	R\$ 320.505,69
4	R\$ 677.385,70	R\$ 275.967,70	R\$ 282.598,94
5	R\$ 566.431,63	R\$ 263.049,37	R\$ 259.991,86
6	R\$ 493.017,91	R\$ 254.501,85	R\$ 245.033,69
7	R\$ 441.051,11	R\$ 248.451,37	R\$ 234.445,37
8	R\$ 402.483,83	R\$ 243.961,00	R\$ 226.587,22
9	R\$ 372.844,71	R\$ 240.510,13	R\$ 220.548,20
10	R\$ 349.450,42	R\$ 237.786,35	R\$ 215.781,57
11	R\$ 330.592,97	R\$ 235.590,79	R\$ 211.939,33
12	R\$ 315.133,35	R\$ 233.790,83	R\$ 208.789,41
13	R\$ 302.282,68	R\$ 232.294,63	R\$ 206.171,06
14	R\$ 291.477,21	R\$ 231.036,56	R\$ 203.969,43
15	R\$ 282.303,33	R\$ 229.968,44	R\$ 202.100,24
16	R\$ 274.450,60	R\$ 229.054,16	R\$ 200.500,23
17	R\$ 267.681,51	R\$ 228.266,03	R\$ 199.121,02
18	R\$ 261.811,20	R\$ 227.582,56	R\$ 197.924,93
19	R\$ 256.693,61	R\$ 226.986,72	R\$ 196.882,21
20	R\$ 252.211,84	R\$ 226.464,91	R\$ 195.969,05
55	R\$ 215.863,93	R\$ 222.232,94	R\$ 188.563,10
56	R\$ 215.759,63	R\$ 222.220,79	R\$ 188.541,85
57	R\$ 215.664,90	R\$ 222.209,76	R\$ 188.522,55
58	R\$ 215.578,86	R\$ 222.199,75	R\$ 188.505,01

 Alternativa de menor custo.

 Valores do CAE de acordo com a vida útil adotada como a mais adequada a cada alternativa.

 Valor referente à vida útil da adutora para que fosse a alternativa mais econômica quando as duas outras possuísem vida útil de 10 anos.

Fonte: Próprio autor, 2020.

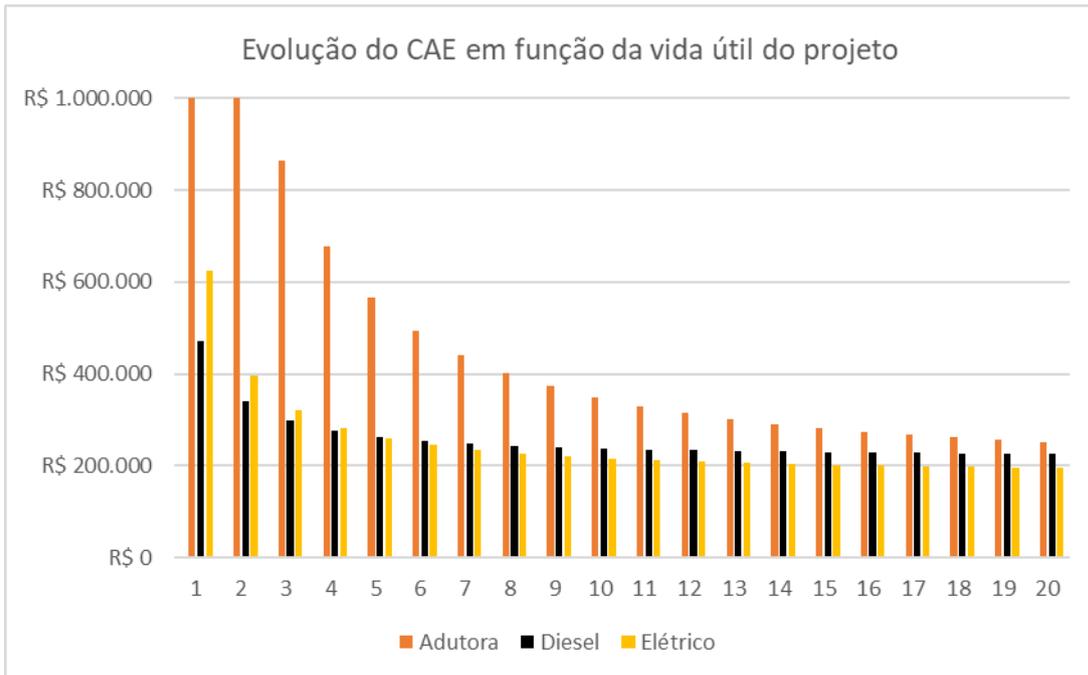


Figura 10. Representação gráfica da progressão do custo anual equivalente das alternativas de abastecimento com relação a vida útil.

Fonte: Próprio autor, 2020.

Comparando a Figura 9 e a Figura 10, é possível observar o quanto uma avaliação que desconsidere métodos econômicos de comparação entre diferentes naturezas dos serviços prestados pode induzir a uma análise equivocada da alternativa menos dispendiosa.

Observando a variação do custo de capital inicial, as alternativas se revezam como a mais viável influenciadas diretamente pelo CAPEX, uma vez que um alto investimento inicial se torna menos atrativo ao passo que o mercado financeiro oferta retornos mais atrativos, representados pelo custo de capital inicial. Porém, seguindo as premissas estabelecidas anteriormente, um custo de capital inicial de 10%, uma vida útil da adutora de 20 anos e a vida útil dos carros-pipa movido a diesel e a energia elétrica, a alternativa economicamente mais atrativa é a realização do abastecimento por carro-pipa elétrico, conforme indica a Tabela 4.

Tabela 4 - Evolução do CAE de acordo com o crescimento do custo de capital inicial com destaque para o custo de capital inicial adotado para comparação entre as alternativas. Fonte: Próprio autor, 2020

<b>Custo anual equivalente</b>			
<b>Custo de capital inicial</b>	<b>Adutora</b>	<b>Diesel</b>	<b>Elétrico</b>
1%	R\$ 118.988,96	R\$ 223.495,52	R\$ 190.772,62
5%	R\$ 172.298,61	R\$ 229.476,14	R\$ 201.238,71
10%	R\$ 252.211,84	R\$ 237.786,35	R\$ 215.781,57
15%	R\$ 343.043,27	R\$ 246.913,02	R\$ 231.753,24
20%	R\$ 440.945,97	R\$ 256.730,69	R\$ 248.934,17
25%	R\$ 543.066,52	R\$ 267.118,14	R\$ 267.112,21
30%	R\$ 647.573,85	R\$ 277.965,86	R\$ 286.095,71
35%	R\$ 753.391,11	R\$ 289.179,58	R\$ 305.719,72
40%	R\$ 859.916,38	R\$ 300.680,96	R\$ 325.847,14

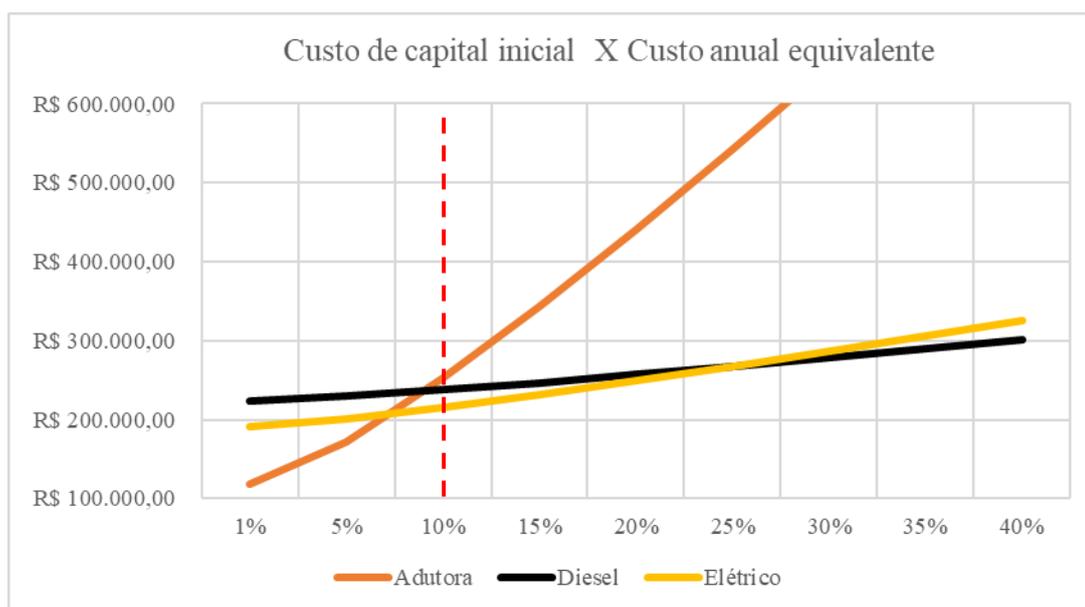


Figura 11. Apresentação gráfica da alternativa de abastecimento economicamente mais atrativa segundo os critérios adotados no trabalho  
Fonte: Próprio autor, 2020

Observando o gráfico acima é possível perceber a alternância da atratividade econômica entre as alternativas levantadas de acordo com a evolução do custo de capital inicial. Um baixo custo de capital inicial atenua o impacto da necessidade de um grande aporte inicial de recursos financeiros, como no caso da adutora que se mostrou a opção mais atrativa até aproximadamente 7%. A alternativa de abastecimento por carro-pipa elétrico se mostra como a mais viável economicamente na faixa compreendida entre 7% e 26%, e a partir deste valor a utilização de carro-pipa movido a diesel se torna a mais indicada.

Os resultados do trabalho podem sofrer alterações de acordo com a aderência dos simuladores utilizados, assim como outros fatores que influenciem os custos de implantação e operação das tecnologias de abastecimento apresentados, como a fidelidade da proporção dos custos de material adotados para o dimensionamento da adutora, variações no preço do diesel e impactos no custo da energia elétrica por fatores climáticos como ocorrência de secas históricas.

É importante ressaltar as respostas obtidas através dos simuladores utilizados apresentam resultados aproximados e adaptados ao cenário proposto, a exemplo do trajeto feito utilizado para identificação dos custos de transporte via carro-pipa a diesel foi adotada apenas o trecho o qual o caminhão estaria carregado, desconsiderando o percurso feito com o equipamento vazio para reabastecer para uma nova viagem, além de equiparar o “resultado da viagem” aos custos de uma equipe de funcionários responsável pela operação do carro-pipa. Já na utilização do simulador da EPE, apesar de se tratar de uma ferramenta de substituição de veículos a diesel por veículos elétricos os valores obtidos podem apresentar discrepâncias pelo fato do simulador ter sido desenvolvido para operações de ônibus urbanos e utilizado para comparação em veículos de carga. Outro ponto que pode contribuir para variações nos resultados do trabalho é o fato do dimensionamento da adutora indicar a uma tubulação de baixo diâmetro o que pode contribuir para variações no custo de sua instalação.

Especificamente na definição dos custos relativos ao transporte de água por via rodoviária, foi considerado que o serviço seria prestado na forma de contratação de frete no caso de motorista autônomo. Eventuais alterações de realização deste trabalho, como a vocação de um carro-pipa e contratação de funcionário, ou funcionários, por parte da empresa tomadora do serviço, tornaria necessária o levantamento dos custos relacionados à esta forma de realizar o trabalho, o que poderia gerar alterações no resultado final da avaliação.

## 5. CONCLUSÕES

A partir das propostas dentro de um cenário hipotético, de abastecimento de água potável por rede (adutora) ou por veículo automotor (carro-pipa), ambas se mostraram adequadas. Entretanto, a análise da viabilidade econômica indicou que o tempo de vida das propostas e o custo de capital inicial se apresentaram como os fatores mais relevantes para a tomada de decisão, uma vez que a alternativa de abastecimento de água via adutora indicou um elevado custo de implantação, mas se justifica em momentos onde o contexto apresenta um custo de capital baixo. Por outro lado, com o custo de capital inicial elevado, o fornecimento de água por carro-pipa movido à diesel se mostrou a mais viável e o fornecimento de água por carro-pipa elétrico (alternativa menos poluente) também se mostrou a economicamente mais viável. A vantagem econômica, dentro do cenário proposto, da alternativa de transporte por carros-pipa elétrico se estabeleceu por conta do menor custo do operação obtido nesta forma de transporte.

A avaliação do CAE das diferentes alternativas aplicas ao cenário proposto demonstra que o tempo de vida útil de cada solução e, principalmente, o custo de capital inicial, incide mais fortemente nos empreendimentos de CAPEX mais elevado. Este aspecto é percebido pela alternância da solução mais econômica de acordo com a evolução do CAE.

Como sugestão para trabalhos futuros são apresentados os seguintes assuntos:

- Avaliação do custo de abastecimento utilizando carro-pipa elétrico abastecido por fonte de geração distribuída.
- Quantificação da emissão de carbono equivalente na instalação e operação das opções de abastecimento apresentadas.
- Verificação da aderência dos resultados obtidos, com a inclusão das perdas de carga localizadas no dimensionamento da adutora.
- Verificação de possíveis disparidades entre os resultados obtidos no dimensionamento da adutora utilizando metodologias diferentes da adotada.
- Variação dos resultados deste trabalho considerando os custos individuais de financiamento de cada uma das alternativas aposentadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUMPÇÃO, Fabiana do Couto. **Veículos elétricos de carga-Uma análise de sua evolução histórica, perfil e possibilidade de utilização no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016. Originalmente apresentado como monografia de conclusão do curso de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

AZEVEDO, N; J. MARTINIANO; ALVAREZ. G. A. **Manual de Hidráulica**. 6.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. vol 1, 190 p.

BANCO MUNDIAL; **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, 2016.

BEVILACQUA, P. D et al. **Vigilância da qualidade da água para consumo humano no âmbito municipal: contornos, desafios e possibilidades**. Saúde Soc. São Paulo, 2014. vol.23, n.2.

BRASIL. Comando Militar do Nordeste. **Ordem de Serviço Nr 008**, Teresina, agosto de 2015.

BRASIL. Constituição (1988) **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF, outubro, 1988

BRASIL. **Decreto nº 5.440, de 04 de maio de 2005**, Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, maio 2005.

BRASIL. **Documento Base de Elaboração da Portaria MS Nº 2914/2011**, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância e Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do trabalhador. Brasília, 2012a.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, janeiro, 1997.

BRASIL. **Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977**. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, março, 1977.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 11 dezembro 2019.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil**. Disponível em:<<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/panorama-dos-pmbs/panorama-completo.pdf>> Acesso em: 11 dezembro 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília, 2019.

BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 5 - Anexo XX**, de 28 de setembro de 2017. Ministério da Saúde. Brasília, DF, 28 set. 2017.

BRASIL. **Portaria Interministerial Nº 1/MI/MD**, de 25 de julho de 2012, Diário Oficial da União, Seção I, Nº 144, de julho, 2012b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA , Simulador Para Avaliação de Ônibus Elétrico. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/simulador-para-avaliacao-de-viabilidade-de-onibus-eletrico>>. Acesso em 07 de ago. 2019.

GOMES, H. P. **Abastecimento de Água**. João Pessoa: LENHS/UFPB, 2019.

GRUPO WLM, Concessionárias SCANIA. Como calcular o custo do km rodado de um caminhão: passo a passo. Disponível em:<<https://blogwlmSCANIA.itaipumg.com.br/como-calcular-o-custo-do-km-rodado-de-um-caminhao-passo-a-passo/>> Acesso em 17 de out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento Brasileiro**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS(ONU). **The human right to water and sanitation** (A/RES/64/292). Disponível em: < [https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf). Acesso em: 21 março 2020.

PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RAZZOLINI M.T.P, GÜNTHER W.M.R. **Impactos na saúde das deficiências de acesso a água**. Vol. 17. São Paulo: Saúde Soc., 2008.

SAMANEZ, Carlos Patrício. **Matemática Financeira: Aplicações à análise de investimento**. São Paulo: Prentice Hall,2002.

SILVESTRE, Paschoal. **Hidráulica geral**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1982.

SOARES, J. A. S.; BARBOSA, E. M. **Políticas de acesso à água no brasil: pensando a evolução das políticas de combate à seca no semiárido**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 8, n. 4, p. 443-467, 2020.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, 2013. 643 p.

**ANEXOS**

## ANEXO – A

### Guia Prático de Uso da Ferramenta

## AVALIAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS URBANOS MUNICIPAIS

### Guia prático para uso da ferramenta

Elaboração:



#### FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS URBANOS MUNICIPAIS

Os ônibus elétricos podem vir a ser uma alternativa ao uso dos ônibus a diesel convencionais nas cidades brasileiras. Por meio desta ferramenta, convidamos os usuários a avaliar a viabilidade de adoção destes veículos em suas frotas municipais, ou até mesmo identificar quais seriam os maiores obstáculos para a adoção desta alternativa ao sistema de transporte público rodoviário.

#### SOLUÇÕES EM CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS



#### ASPECTO ECONÔMICO

Apesar do custo de aquisição superior do ônibus elétrico, os custos de combustível e manutenção são inferiores, levando a sua viabilidade em alguns casos



#### ASPECTO SOCIAL

Alguns benefícios diretos da substituição são a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos, a redução do nível de ruído, e a possível melhoria da qualidade do material rodante no serviço de transporte.



#### ASPECTO AMBIENTAL

Ônibus elétricos permitem evitar a emissão de CO<sub>2</sub>, oriunda da queima do óleo diesel, além de poluentes locais como CO, NO<sub>x</sub> e material particulado (MP)

#### QUANTO SE USA DE TRANSPORTE?

O nível de atividade de transporte público pode ser determinado pelo usuário da ferramenta em função da quantidade de habitantes de um município.



#### VARIÁVEIS IMPORTANTES

O tamanho das cidades e a sua quantidade de habitantes influenciam o quanto os ônibus devem percorrer em km/ano. Quanto maior a população, maior o trajeto médio anual.

Indicar o quanto mais caros são os modelos elétricos em relação aos modelos a diesel é uma questão importante, assim como o seu custo de infraestrutura de recarga. O custo de combustível, eficiência dos veículos e custos de manutenção são custos variáveis que podem viabilizar a substituição de uma tecnologia pela outra.



Variáveis que determinam a forma como pagar as tecnologias são: a taxa de retorno esperada pelos empreendedores; a taxa de financiamento bancária; a parcela do valor financiada, o tempo do financiamento e o valor de revenda dos ônibus ao final de suas vidas úteis.



#### FORMAS DE AVALIAR A VIABILIDADE ECONÔMICA DOS PROJETOS

**TIR** TAXA INTERNA DE RETORNO

**TCO** CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE

**VPL** VALOR PRESENTE LÍQUIDO

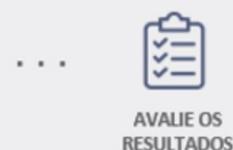
**PAYBACK**

TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

#### REDUÇÃO DA ASSIMETRIA DE INFORMAÇÃO

Ferramentas de avaliação de alternativas tecnológicas não se resumem a estimular a adoção de novas tecnologias. O seu objetivo principal é identificar as principais variáveis envolvidas no uso de cada alternativa, permitindo ao usuário explorá-las a fim de avaliar a viabilidade técnico-econômica para a adoção de inovações e reduzir a assimetria de informação.

## COMO RESPONDER A ESTAS PERGUNTAS?



## QUANTO SE USA DE TRANSPORTE? 1

## COMO PAGAR POR ELAS? 5 6



## QUANTO CUSTA CADA TECNOLOGIA? 2 3 4

## Atribua valores às seguintes variáveis nas áreas numeradas

**1 Padrão de cidade:** informação que identifica o número de habitantes do seu município pela escolha da faixa de população 60 a 100 mil; 100 a 250 mil; 250 a 500 mil; 500 mil a 1 milhão ou superior a 1 milhão de habitantes.

**Número de ônibus elétricos:** representa a quantidade de ônibus elétricos que o usuário deseja adotar na sua frota de ônibus municipais.

**2 Preço do diesel:** preço de óleo diesel comercializado pela prestadora/concessionária/permissionária de transporte. Em caso de dúvida é possível consultar a evolução dos preços por Unidade Federativa (UF) atualizados para janeiro de 2019 pela inflação<sup>1</sup>.

**3 Distribuidora de energia elétrica:** a escolha da concessionária ou permissionária de energia elétrica influencia o valor da tarifa de eletricidade, bem como a sua composição de custos.

**4 Custo de aquisição do ônibus diesel:** preço do ônibus a diesel convencional é informado pelo usuário e compõe a única parcela de custo de aquisição (custo fixo) desta tecnologia.

**Custo de infraestrutura do ônibus elétrico:** representa o valor do custo dos equipamentos e da infraestrutura da recarga de energia elétrica para os ônibus à bateria, abordada como custo fixo associado à aquisição do ônibus.

**Proporção de custos entre as tecnologias:** é o fator que determina "quantas vezes" um ônibus elétrico é mais caro do que o seu equivalente convencional a diesel.

**Rendimento:** representa o quanto os ônibus conseguem em média percorrer usando uma unidade de energia, no caso dos ônibus a diesel avaliado em km/l, no caso dos ônibus elétricos avaliado em km/kWh.

**Custo de manutenção:** identifica o custo médio de manutenção por quilômetro para cada tecnologia. Quanto menor for o custo médio de manutenção por quilômetro, menor será o custo variável da tecnologia.

**A4 – Distribuidora x Aluguel de GD:** identifica qual será a modalidade de fornecimento de energia elétrica para o abastecimento dos ônibus elétricos, seja conectado à distribuidora na alta tensão (A4) ou por meio da contratação de serviços de fornecimento de eletricidade via geração distribuída (GD), por meio de energia solar, biomassa, eólica, entre outras.

**5 Custo de capital próprio:** busca captar o quanto o empreendedor espera de retorno nos seus investimentos.

**Custo de financiamento:** identifica a taxa de financiamento praticada por uma instituição financeira.

**Percentual financiado:** representa a parcela financiada pela instituição financeira.

**Prazo de financiamento:** permite ao usuário determinar qual será a duração (em anos) do financiamento pelo SAC<sup>2</sup>.

**Valor de revenda (%):** busca identificar qual percentual do valor de compra é praticado na revenda do veículo.

## ACESSE A FERRAMENTA E OBTENHA A RESPOSTA A ESSAS PERGUNTAS:

Ferramenta de avaliação de ônibus elétricos urbanos municipais  
<https://bit.ly/2Co9tdN>



<sup>1</sup> O índice de inflação utilizado para a atualização de preços foi o IPCA; <sup>2</sup> SAC: Sistema de Amortização Constante

## ANEXO – B

## Fluxograma Geral da Metodologia

## FLUXOGRAMA GERAL DA METODOLOGIA

Clique sobre os módulos em verde para acessar o conteúdo referente às componentes financeira, de preços e utilização

