



WPLEX

EFICIÊNCIA QUE
MOVE PESSOAS

O Futuro da Mobilidade: Desafios e soluções no planejamento de frotas de ônibus elétricos

**O Futuro da
Mobilidade:
Desafios e
soluções no
planejamento
de frotas de
ônibus
elétricos**



Até 2035, 50% dos novos ônibus urbanos emplacados no Brasil serão elétricos

Segundo a ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), até 2035, 50% dos novos ônibus urbanos emplacados no Brasil serão elétricos.

A maior parte da energia elétrica do país provém de hidrelétricas, o que faz da eletrificação do transporte público uma alternativa sustentável e eficiente.

O ambiente urbano, por sua vez, é ideal para os ônibus elétricos, seja pela melhoria ambiental ou pelo menor

percurso diário e disponibilidade de pontos para recarga.

A eletrificação das frotas oferece diversos benefícios econômicos e operacionais: ônibus elétricos têm um custo por quilômetro menor em relação aos veículos a diesel e exigem menos paradas de manutenção, que, quando necessárias, são mais rápidas e simples. Eles também produzem menos ruído, reduzindo a poluição sonora e melhorando o conforto dos passageiros e a qualidade de vida nas cidades.

Ônibus elétrico é mais caro que ônibus a diesel?

À primeira vista, o ônibus elétrico apresenta um custo de aquisição significativamente maior que o ônibus a diesel. No entanto, essa diferença no investimento inicial não reflete toda a realidade dos custos operacionais e de manutenção ao longo do tempo.

Para analisar se o ônibus elétrico é realmente mais caro que o ônibus a diesel, precisamos observar os custos acumulados ao longo da vida útil de ambos, levando em consideração a

substituição de componentes importantes, como a bateria no caso do ônibus elétrico, ou o próprio veículo no caso do ônibus a diesel após alcançar a idade máxima de uso.

No quadro abaixo, apresentamos os dados utilizados na comparação entre dois modelos de ônibus: um ônibus elétrico Eletra e um ônibus a diesel com carroceria Caio e chassis Mercedes Benz, ambos de 70 lugares, com ar condicionado e câmbio automático no caso do diesel. Os valores são ilustrativos e podem variar de acordo com a condição de uso.

	1 ÔNIBUS ELÉTRICO	1 ÔNIBUS DIESEL
Modelo	70 lugares	70 lugares
Acessórios	Ar condicionado	Ar cond. e câmbio autom.
Aquisição do ônibus	R\$ 2.000.000	R\$ 700.000
Estação de recarga rápida	R\$ 200.000	N.A.
Substituição da bateria	10 anos	N.A.
Substituição da bateria	R\$ 500.000	N.A.
Substituição do ônibus	20 anos	10 anos
Valor de revenda	20%	20%
Custo energia/combustível	R\$ 0,50/km	R\$ 2,50/km
Custo manutenção	R\$ 20.000/ano	R\$ 50.000/ano
Rodagem	60.000 km/ano	60.000 km/ano

Análise de custos

Embora o ônibus elétrico tenha um custo inicial mais alto, ele se torna mais econômico após 10 anos de operação devido aos menores custos operacionais e de manutenção. A economia acumulada entre o décimo e o vigésimo ano é significativa, mostrando que o ônibus elétrico pode ser uma opção financeiramente mais vantajosa a longo prazo, além dos benefícios ambientais que oferece.

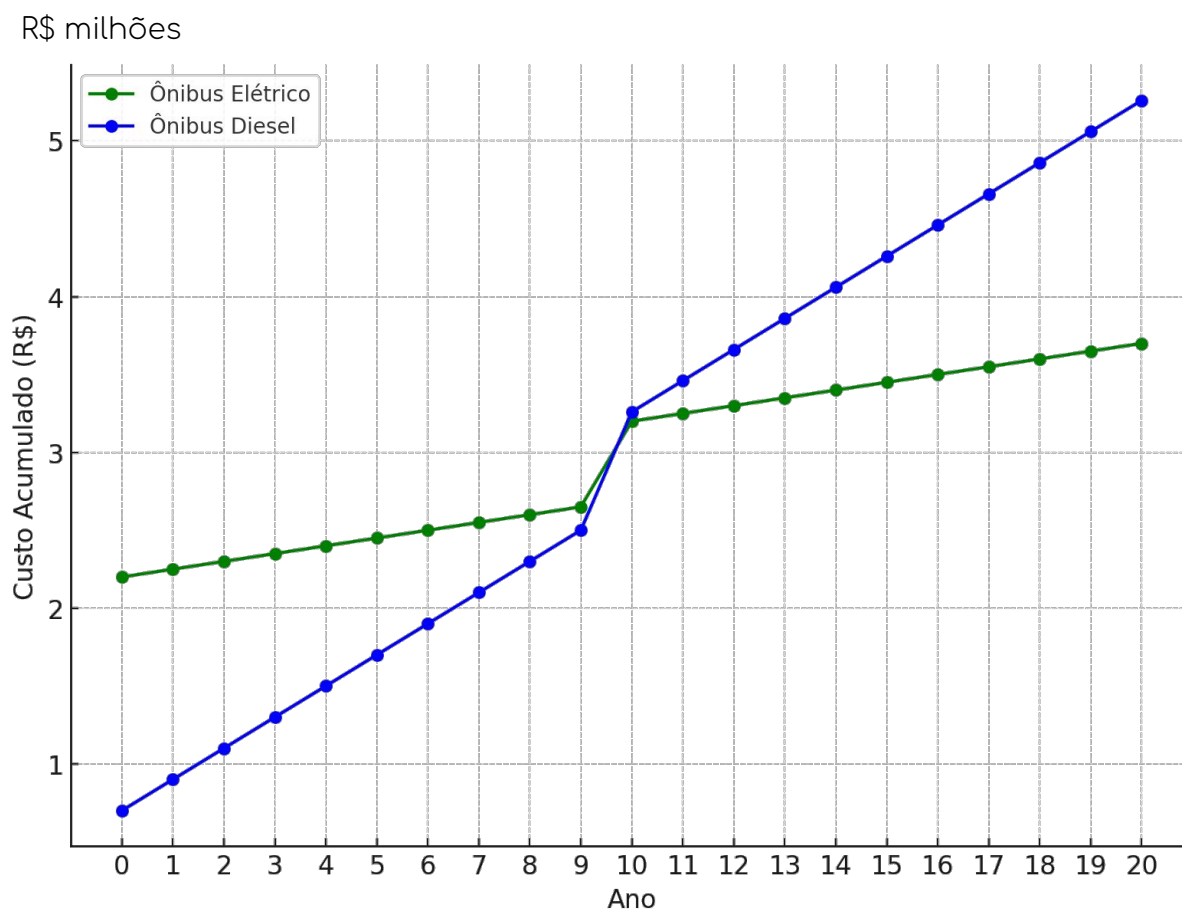
Nos primeiros 10 anos, o custo total do ônibus elétrico é maior devido ao investimento inicial e à substituição da bateria, que ocorre ao redor do décimo ano de uso. No entanto, a partir do décimo ano, o gráfico revela um ponto de

equilíbrio (break-even), onde os custos acumulados do ônibus elétrico começam a ficar menores que os do ônibus a diesel.

Após o décimo ano, o ônibus a diesel enfrenta dois desafios principais:

Substituição do veículo: Normalmente, após 10 anos, o ônibus a diesel precisa ser substituído, o que adiciona um novo custo de aquisição, subtraindo-se o valor de revenda do veículo.

Custos operacionais mais altos: O consumo de diesel por quilômetro rodado e os altos custos de manutenção (trocas frequentes de óleo, peças mecânicas, etc.) fazem o custo total do ônibus a diesel crescer rapidamente.



Vida útil do veículo

A vida útil de um ônibus a diesel no Brasil é estimada em 15 a 20 anos. Contudo, a idade máxima permitida para a operação no transporte público urbano é menor, variando entre 10 a 12 anos nas cidades brasileiras, de acordo com as regulamentações dos órgãos gestores.

Por outro lado, a vida útil de um ônibus elétrico é estimada em 20 a 25 anos, sendo que durante esse período, a bateria geralmente precisa ser substituída uma ou duas vezes, dependendo do uso e da tecnologia empregada.

Atualmente, a idade máxima permitida para ônibus elétricos em operação no transporte público urbano ainda não é rigidamente estabelecida. Como os ônibus elétricos são uma tecnologia relativamente nova no Brasil, muitos órgãos gestores estão desenvolvendo normas específicas para esses veículos.

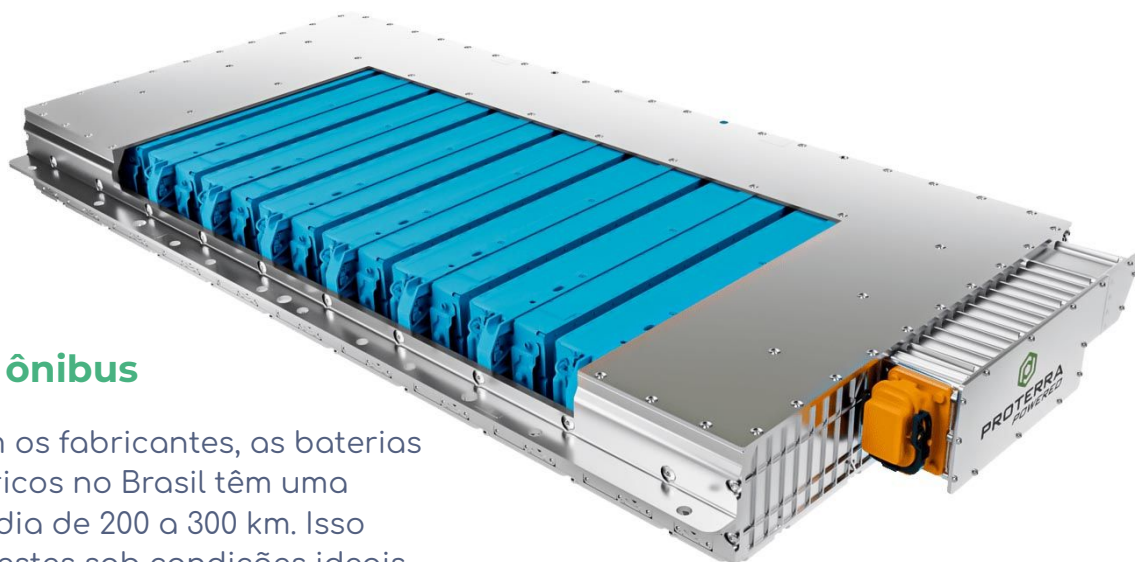
No entanto, a tendência é que os ônibus elétricos tenham uma vida útil operacional mais longa em comparação aos ônibus a diesel, com uma expectativa de idade máxima operacional variando entre 15 a 20 anos, dependendo do local.

CAPEX e OPEX

Dois termos que são utilizados com frequência para tratar de investimentos na área são: CAPEX e OPEX.

Como há incertezas sobre a vida útil exata das baterias e do próprio veículo elétrico nas condições brasileiras, o governo federal e algumas cidades têm oferecido subsídios para incentivar e acelerar a adoção da eletrificação, financiando ou assumindo o CAPEX, deixando o OPEX sob a responsabilidade das empresas operadoras.

- **CAPEX (Capital Expenditure):** Refere-se aos investimentos em bens de capital, como a compra de novos ônibus elétricos e a instalação da infraestrutura de recarga.
- **OPEX (Operational Expenditure):** Refere-se às despesas operacionais recorrentes, como a manutenção da frota e os custos com eletricidade para recarga.



Baterias do ônibus

De acordo com os fabricantes, as baterias de ônibus elétricos no Brasil têm uma autonomia média de 200 a 300 km. Isso com base em testes sob condições ideais - rotas planas, sem o uso de acessórios como ar condicionado e com carga limitada.

Saúde da bateria

Sendo um componente de alto custo, é essencial prolongar sua vida útil. Para isso, deve-se evitar descarregar até 0%, mantendo a carga da bateria no mínimo em 10% de sua capacidade.

Margem de segurança

É recomendável considerar uma margem de segurança de 10% para imprevistos relacionados ao trânsito ou mudanças operacionais.

Vida útil operacional

As baterias devem ser substituídas entre 8 a 12 anos. Durante esse período, as baterias perdem de 20% e 30% de sua capacidade. Neste ponto, os operadores efetuam a sua substituição, especialmente em operações que exigem maior autonomia.

Temperatura ambiente

Em condições extremas de calor ou frio, como várias partes do país, a autonomia

dos ônibus pode cair até 10%, dependendo da temperatura e do consumo de energia para climatização ou controle térmico.

Estratégias de recarga

Existem duas estratégias de carregamento: as recargas noturnas e as recargas de oportunidade, realizadas durante o dia.

Nas cidades médias e grandes, o percurso médio diário varia entre 200 e 300 km. Assim, as recargas de oportunidade tornam-se fundamentais para o sucesso da operação.

O tempo de recarga varia conforme o tipo de bateria e a potência do carregador:

- Recarga lenta: entre 4 e 8 horas.
- Recarga rápida: entre 2 e 4 horas.
- Recarga ultrarrápida: de 30 minutos a 1,5 horas.

Recargas rápidas frequentes podem reduzir a vida útil da bateria, por isso, é ideal alterná-las com recargas lentas no período noturno.

Gestão das baterias

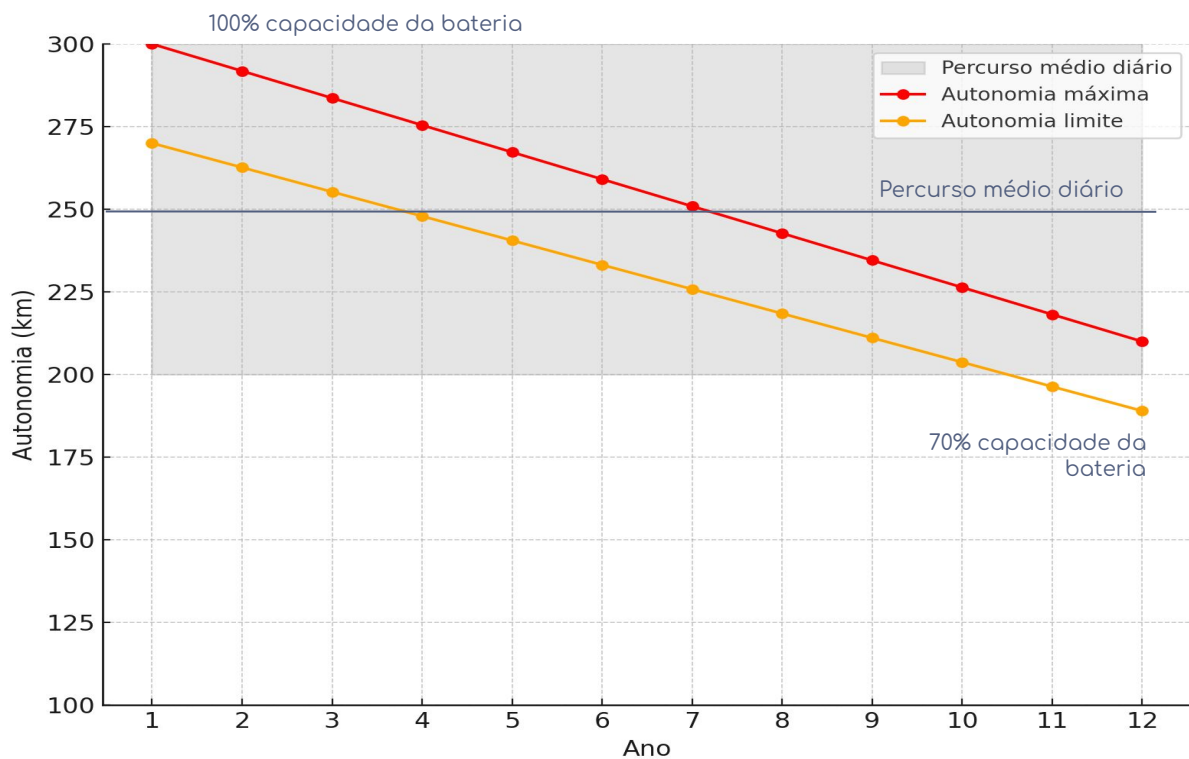
Para garantir o sucesso da operação, é essencial planejar os momentos ideais para realizar as recargas de oportunidade e manter as programações horárias dos ônibus elétricos sempre atualizadas com dados precisos sobre o consumo dos veículos.

Além disso, como a capacidade de retenção de carga das baterias diminui com o tempo, é crucial monitorar periodicamente a autonomia de cada ônibus.

O gráfico abaixo ilustra a perda de autonomia do veículo elétrico ao longo de sua vida útil operacional em dois cenários:

Autonomia máxima: iniciando em 300 km e terminando em 210 km.

Autonomia limite: com carga mínima de 10% mais uma margem de segurança de 10%, iniciando em 192 km e terminando em 134 km.



Desafio do planejamento operacional dos ônibus elétricos

Um dos principais desafios do planejamento operacional de frotas de ônibus elétricos é garantir uma operação fluida e sem interrupções causadas pelas limitações de autonomia das baterias, de maneira otimizada e econômica.

Enquanto alguns ônibus podem ser recarregados apenas à noite na garagem, outros precisam realizar recargas de oportunidade ao longo do dia para manter o serviço ininterrupto.

Até que a eletrificação completa das frotas seja alcançada, é possível combinar ônibus elétricos com veículos a diesel, priorizando os elétricos em rotas de maior demanda e rodagem. Essa estratégia visa

maximizar a economia de operação e garantir que o maior número de passageiros seja atendido de forma eficiente, aproveitando ao máximo as vantagens econômicas e ambientais dos ônibus elétricos.

Para evitar que os veículos fiquem sem energia durante o seu funcionamento, é utilizada uma margem de segurança de 10% a 20% da capacidade da bateria. Essa reserva é fundamental para lidar com situações imprevistas, como desvios de rota ou atrasos.

Além disso, o planejamento dos serviços diários dos motoristas deve considerar a programação de recargas de oportunidade ao longo do dia, garantindo que estejam sempre prontos para atender às necessidades da operação.

1

Autonomia

Qual é a autonomia do ônibus elétrico?

2

Saúde da bateria

Posso usar a carga da bateria até o fim?

3

Recarga noturna

Posso carregar a frota somente à noite?

4

Recarga de oportunidade

O que é recarga de oportunidade?

5

Telemetria

Qual a importância da telemetria da bateria?

6

Tamanho da frota

Vou precisar de mais ônibus elétricos que a diesel?

Caso prático 1

São José dos Campos, SP

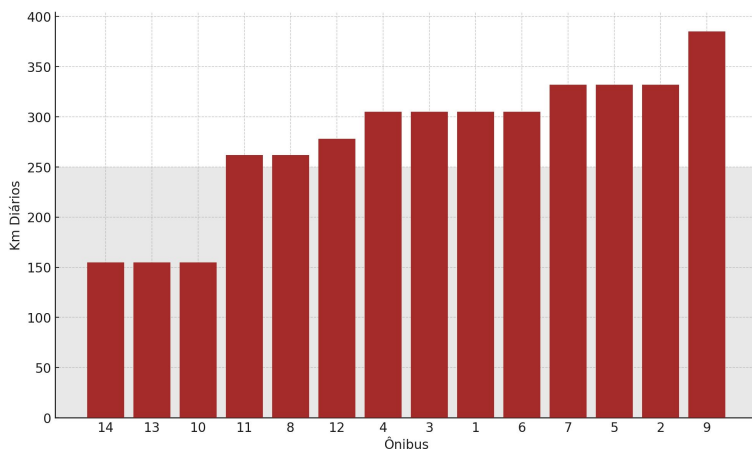
Queremos operar uma linha que tem 14 ônibus a diesel com ônibus elétricos. Quantos ônibus a mais vamos precisar?

Análise

Dos 14 ônibus, 11 percorrem mais de 250 km por dia, excedendo a autonomia

máxima da bateria. Por isso, recargas de oportunidade devem ser programadas durante o dia para garantir que os veículos possam operar até o final do dia.

Dos 14 ônibus, 5 se retiram no entrepico ficando na garagem durante 5 a 7 horas. É durante esse período que as recargas de oportunidade podem ser programadas.



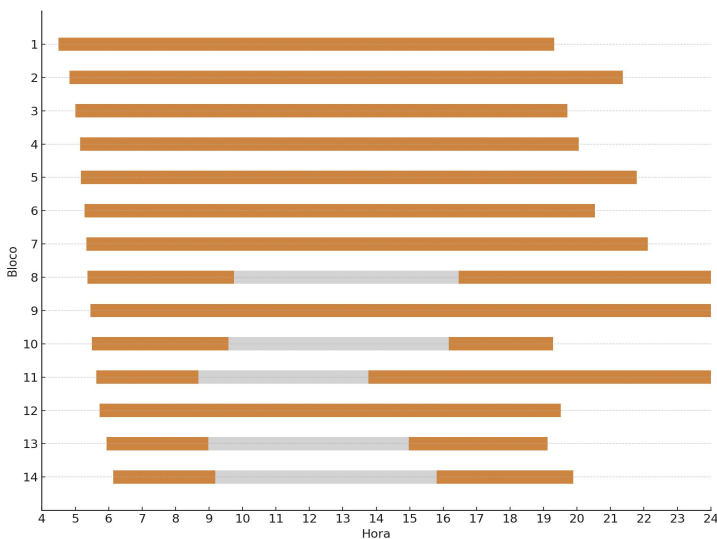
Percurso diário do ônibus diesel em km

Caso prático 1

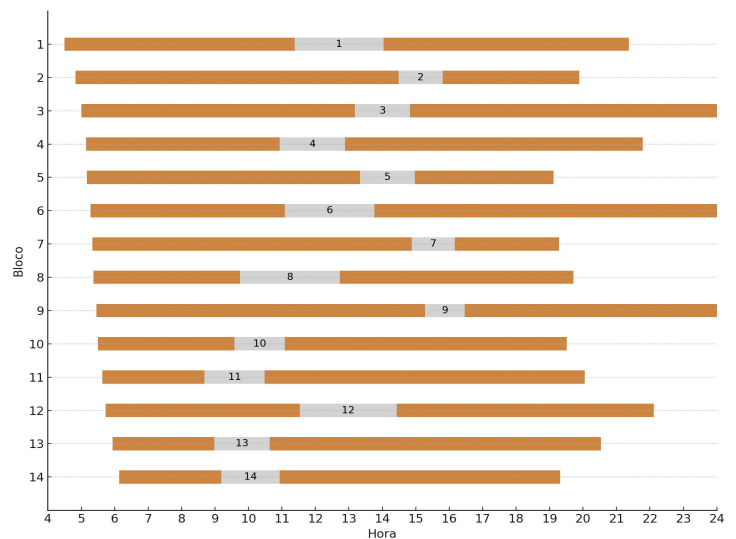
Resultado

Concluiu-se que a linha pode ser operada com o mesmo número de ônibus elétricos que de ônibus a diesel. Para isso, são necessárias 14 recargas de oportunidade, uma para cada ônibus no meio do dia.

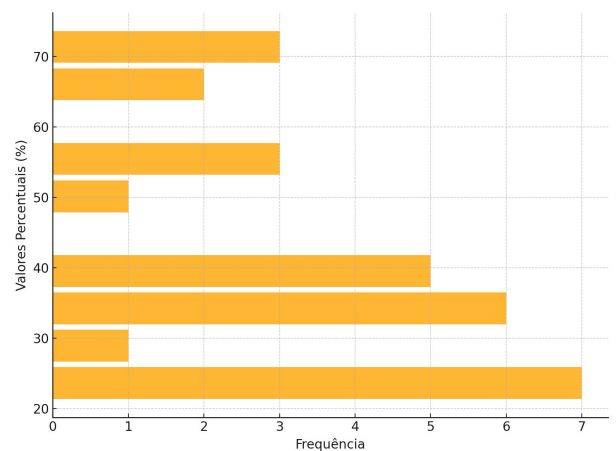
Nenhum ônibus ficou com carga menor que os 20% limite, considerando 10% de margem de segurança e 10% de carga mínima recomendada da bateria.



CENÁRIO ATUAL - 14 ônibus a diesel



CENÁRIO PROPOSTO - 14 ônibus elétricos



Carga restante da bateria em %

Caso prático 2

Curitiba, PR

As linhas circulares Interbairros 2 utilizam seis ônibus elétricos, três no sentido horário e três no anti horário. São usados dois híbridos para que os elétricos possam ser recarregados no entrepico. É possível eliminar os híbridos e ficar só com os elétricos?

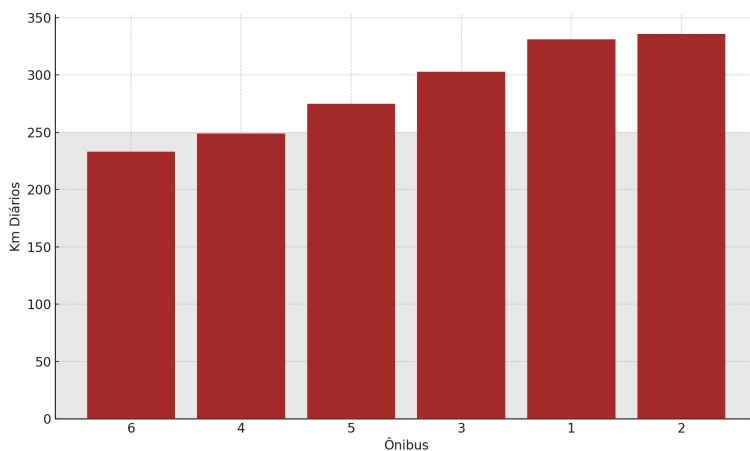
Restrições

As linhas são operadas por 3 consórcios que adquiriram 2 ônibus elétricos cada.

Como são remunerados por km, cada consórcio deve ficar com 1/3 do km total.

Análise

Dos 6 ônibus, apenas um percorre menos de 250 km por dia. Os demais precisam receber recargas de oportunidade durante o dia para que possam operar até o final do dia.



Percurso diário dos ônibus elétricos em km

Caso prático 2

Resultado

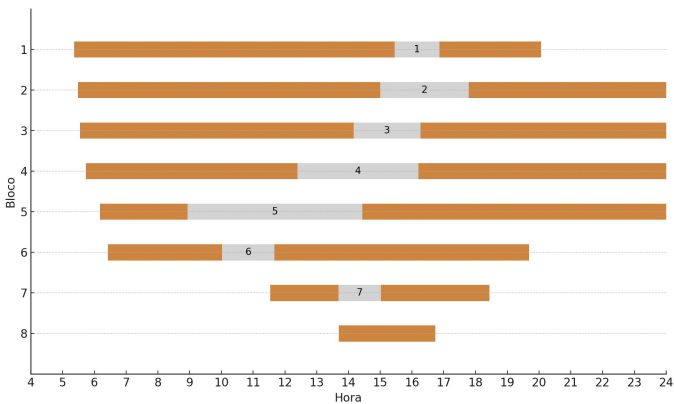
Concluiu-se que as linhas podem ser operadas sem o uso dos veículos híbridos e ainda atender às restrições operacionais.

Foram gerados quatro cenários. No cenário escolhido, são necessárias 8 recargas de oportunidade, sendo que dois

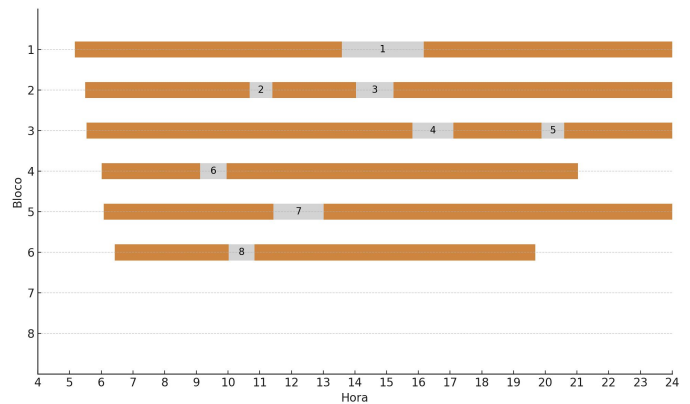
ônibus recebem duas recargas no dia.

Nenhum ônibus ficou com carga menor em nenhum de seus blocos de viagem que os 20% de limite mínimo recomendado.

O cenário 2 foi escolhido por dispensar totalmente a necessidade de ônibus adicionais para cobrir as paradas para recarga dos elétricos e por minimizar a diferença de remuneração entre os 3 consórcios operadores.



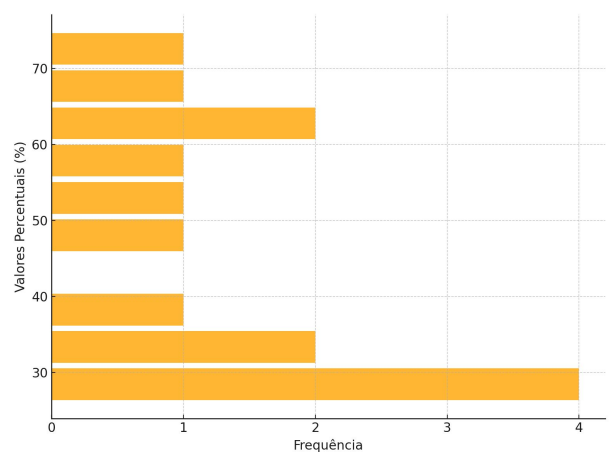
CENÁRIO ATUAL - 2 híbridos



CENÁRIO 2 - 0 híbridos
Ônibus 2 e 3 fazem 2 recargas no dia

	CE. ATUAL	CENÁRIO 4	CENÁRIO 2
Veículos	6 elétricos + 2 híbrido	6 elétricos + 1 híbrido	6 elétricos
D. padrão km/cons.	1,22%	0,56%	0,34%

Comparação entre cenários



Carga restante da bateria em %

Ferramentas de otimização

Ferramentas tecnológicas desempenham um papel fundamental na otimização da frota de ônibus elétricos.

Softwares inteligentes de programação da operação automatizam o processo de planejamento, agendando recargas com base no consumo previsto dos veículos, autonomia, o tempo de recarga e a infraestrutura disponível, além de garantir o atendimento aos passageiros com conforto e pontualidade.

Baterias

Autonomia e consumo: O software deve calcular a autonomia e o consumo de energia, levando em consideração fatores como o trajeto, as condições climáticas e a margem de segurança para imprevistos.

Telemetria integrada: A solução deve se conectar a sistemas de telemetria dos ônibus para receber informações do consumo de energia e autonomia.

Estatísticas de consumo por viagem: Utilizando dados da telemetria, o software deve prever o consumo de energia ao longo do dia e ajustar as estratégias de recarga conforme necessário.

Recargas de Oportunidade

Identificação de janelas de recarga: O software deve determinar os melhores momentos para recargas, seja nos terminais ou na garagem, garantindo uma operação contínua e eficiente.

Otimização de recarga: O sistema deve calcular o tempo necessário para cada





recarga e priorizar veículos com menos carga na bateria.

Minimização de interrupções: O planejamento deve evitar que as recargas de oportunidade afetem a frequência de serviço, integrando-as de forma fluida à programação de viagens, sem comprometer os horários e a regularidade nos intervalos.

Estações de Recarga

Localização: O software deve considerar as estações de recarga mais próximas da rota, para reduzir o percurso morto.

Capacidade e demanda energética: O software deve gerenciar a capacidade e a demanda das estações de recarga, assegurando que o número de veículos atendidos simultaneamente seja compatível com a capacidade energética e a quantidade de pontos de recarga disponíveis.

Simulação de Cenários

Simulações operacionais: O software deve simular diversos cenários operacionais, testando como autonomia e margem de segurança afetam o dimensionamento da frota, a sua capacidade de atender às viagens programadas e o custo de energia.

Esses recursos garantem um planejamento eficiente e flexível, para enfrentar os desafios da operação de frotas de ônibus elétricos, especialmente no que se refere às recargas de oportunidade. O resultado é uma maior fluidez da operação e economia de recursos.

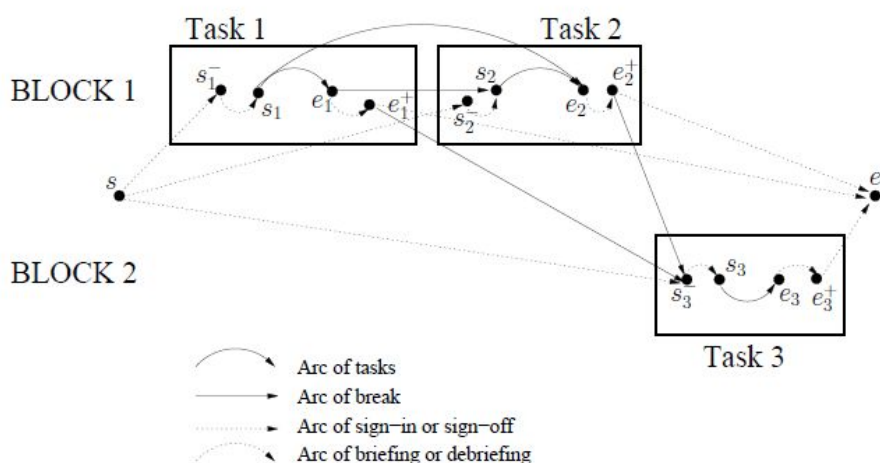
Problemas matemáticos combinatórios

Em uma linha de ônibus, são realizadas dezenas ou centenas de viagens por dia. Mesmo observando as restrições operacionais, como os tempos mínimos de paradas nos terminais e as normas para a jornada de trabalho da tripulação, milhares de possibilidades de encadeamento entre viagens, carros, motoristas - e paradas para recarga de oportunidade de ônibus elétricos - formam o universo de soluções para a programação horária de uma linha.

Diante disso, torna-se imprescindível o uso de ferramentas computacionais avançadas, equipadas com algoritmos matemáticos inteligentes, para buscar soluções mais eficientes para a operação.

Dentre os vários benefícios do software de programação horária WPLEX-ON, destacam-se a capacidade de:

- Gerar programações horárias operacionalizáveis no dia a dia.
- Maximizar a eficiência no uso de motoristas e veículos.
- Avaliar rapidamente múltiplos cenários operacionais.
- Assegurar a aderência às normas operacionais estabelecidas.
- Minimizar os erros de planejamento por intervenção manual.





WPLEX Software

A WPLEX é uma empresa catarinense líder em soluções inovadoras para a otimização da operação de sistemas de transporte público. Nossas tecnologias abrangem desde a otimização de horários e escalas até o monitoramento de frotas e informação ao passageiro, garantindo uma operação precisa e eficaz.

Temos orgulho de ajudar a movimentar milhões de pessoas diariamente em diversos estados do Brasil, evidenciando nosso compromisso com a eficiência que move pessoas.



WPLEX Software
wplex.com.br | contato@wplex.com.br

