

Análise de Viabilidade da Substituição de Ônibus a Diesel por Ônibus a Gás e/ou Biometano em Goiás

**Luiz Gustavo Silva de Oliveira
Marcelo Ferreira Tete**



**Relatório de Riscos e
Recomendações
Estratégicas**

SUMÁRIO

1. Introdução	5
2. Quadro analítico para análise de riscos	6
3. Tipos de riscos associados à implementação do <i>business case</i>	7
4. Matriz de riscos para o <i>Business Case</i>	10
5. Estratégia para mitigação de riscos	17
Estratégias para Riscos de Curto Prazo (0 – 2 anos)	17
Desenvolvimento de Médio Prazo (2 – 5 anos)	18
Visão de Longo Prazo (+5 anos)	18
6. Recomendações estratégicas e considerações finais	18
7. Referências.....	20

Lista de Figuras

Figura 1 - Escalas de probabilidade e impacto de riscos	6
Figura 2 - Matriz de classificação de riscos	7

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tipos de Riscos Analisados	10
Tabela 2 – Matriz de Riscos para a Alternativa GNV	11
Tabela 3 – Matriz de Riscos para a Alternativa Biometano	13
Tabela 4 – Matriz de Riscos para a Alternativa Dual-Fuel	15

1. Introdução

A transição para tecnologias de transporte sustentável tem ganhado destaque global, e em Goiás, um projeto estratégico visa substituir ônibus a diesel por alternativas como gás natural veicular (GNV), biometano e sistemas dual-fuel (diesel-GNV/biometano). Esta iniciativa busca analisar opções tecnológicas para descarbonizar a frota de ônibus, considerando critérios econômicos, ambientais e operacionais. O estudo comparativo priorizou o Custo Total de Propriedade Nivelado (TCOn), as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a viabilidade técnica, com o intuito de orientar políticas públicas e investimentos alinhados às metas climáticas.

Como principais resultados dessas análises, o ônibus a diesel Euro VI apresentou o menor TCOn (R\$ 6,08/km), reforçando sua atratividade econômica imediata. Contudo, o biometano emergiu como a alternativa mais promissora para redução de emissões, com diminuição de 35% nos GEE em comparação ao diesel, potencialmente alcançando 75% caso atinja 95% de disponibilidade. Apesar disso, seu custo operacional no cenário base é 4,5% superior ao diesel. Adicionalmente, o GNV já economicamente competitivo (TCOn de R\$ 6,10/km) e também reduz as emissões em aproximadamente 15%, representando uma alternativa de curto prazo que pode ser estruturante. Já a tecnologia dual-fuel mostrou-se menos vantajosa: além de apresentar o maior sobrecusto (5,2%) frente ao diesel, sua eficiência operacional é inferior e sua mitigação de emissões é limitada, agravada pela escassa experiência no mercado brasileiro.

Adicionalmente, as análises de sensibilidade revelaram condições para viabilizar as alternativas. Reduções de 20% no preço do biometano ou do GNV, combinadas com baixa sazonalidade (5%), tornariam essas opções mais econômicas que o diesel. Contudo, aumentos de 20-40% nos investimentos unitários elevariam os custos das alternativas em 13-22%. A volatilidade do preço do biometano também é crítica: uma redução de 20% geraria economia de 17,5% nos custos de combustível, enquanto um aumento de 20% os elevaria em 6%. Ambientalmente, a redução da sazonalidade do biometano ampliaria seu benefício: com disponibilidade de 95%, uma frota de 500 ônibus teria redução equivalente à retirada de 199 ônibus diesel.

As análises econômicas e de sensibilidade indicam alguns caminhos: (i) o biometano é essencial para a descarbonização, ainda que em combinação com GNV; (ii) sua disponibilidade contínua maximiza benefícios ambientais; (iii) o GNV é economicamente viável, porém ambientalmente questionável; e (iv) a opção dual-fuel traz riscos operacionais e custos elevados. Entretanto, cada alternativa carrega incertezas críticas — desde a volatilidade de preços e investimentos até riscos tecnológicos e de escalabilidade. ***Este relatório tem como objetivo central identificar os riscos relacionados à implementação dessas tecnologias e fornecer subsídios para decisões estratégicas fundamentadas nos resultados do primeiro estudo.*** A discussão também inclui como mitigar vulnerabilidades e aproveitar oportunidades em um contexto de transição energética dinâmica e complexa.

2. Quadro analítico para análise de riscos

As análises de risco realizadas neste relatório seguem a metodologia básica definida pela Controladoria-Geral da União (CGU) ¹. Essa metodologia utiliza dois eixos clássicos para avaliação: a probabilidade de ocorrência do risco e o impacto associado a ele. A combinação desses dois fatores resulta na formação de uma matriz de risco, que permite a visualização e priorização dos riscos identificados. A Figura 1 descreve e explica esses eixos.

Figura 1 - Escalas de probabilidade e impacto de riscos

Quadro 3: Escala de Probabilidade		
Probabilidade	Descrição da probabilidade, desconsiderando os controles	Peso
Muito baixa	Improvável. Em situações excepcionais, o evento poderá até ocorrer, mas nada nas circunstâncias indica essa possibilidade.	1
Baixa	Rara. De forma inesperada ou casual, o evento poderá ocorrer, pois as circunstâncias pouco indicam essa possibilidade.	2
Média	Possível. De alguma forma, o evento poderá ocorrer, pois as circunstâncias indicam moderadamente essa possibilidade.	5
Alta	Provável. De forma até esperada, o evento poderá ocorrer, pois as circunstâncias indicam fortemente essa possibilidade.	8
Muito alta	Praticamente certa. De forma inequívoca, o evento ocorrerá, as circunstâncias indicam claramente essa possibilidade.	10

Quadro 4: Escala de Impacto		
Impacto	Descrição do impacto nos objetivos, caso o evento ocorra	Peso
Muito baixo	Mínimo impacto nos objetivos (estratégicos, operacionais, de informação/comunicação/divulgação ou de conformidade).	1
Baixo	Pequeno impacto nos objetivos (idem).	2
Médio	Moderado impacto nos objetivos (idem), porém recuperável.	5
Alto	Significativo impacto nos objetivos (idem), de difícil reversão.	8
Muito Alto	Catastrófico impacto nos objetivos (idem), de forma irreversível.	10

Fonte: CGU (2018)

A CGU estabelece escalas específicas para medir tanto a probabilidade quanto o impacto dos riscos, conforme ilustrado na figura abaixo. Com base nessas escalas, é possível calcular o nível de risco por meio do produto entre a probabilidade e o impacto. Os valores resultantes são classificados em quatro categorias: risco baixo (0 a 9,99), risco médio (10 a 39,99), risco alto (40 a 79,99) e risco extremo (80 a 100). Com essas definições, é construída uma matriz de riscos que organiza graficamente os níveis calculados, permitindo uma análise clara e objetiva das prioridades de gestão de riscos. A matriz correspondente está apresentada na Figura 2.

¹ <https://www.gov.br/cgu/pt-br/aceso-a-informacao/governanca/gestao-de-riscos>

Figura 2 - Matriz de classificação de riscos

IMPACTO	Muito Alto 10	10 RM	20 RM	50 RA	80 RE	100 RE
	Alto 8	8 RB	16 RM	40 RA	64 RA	80 RE
	Médio 5	5 RB	10 RM	25 RM	40 RA	50 RA
	Baixo 2	2 RB	4 RB	10 RM	16 RM	20 RM
	Muito Baixo 1	1 RB	2 RB	5 RB	8 RB	10 RM
		Muito Baixa 1	Baixa 2	Média 5	Alta 8	Muito Alta 10
PROBABILIDADE						

Fonte: CGU (2018)

3. Tipos de riscos associados à implementação do *business case*

A implementação de um projeto de substituição de ônibus a diesel por alternativas movidas a GNL e biometano em Goiás apresenta um conjunto complexo de desafios que precisam ser cuidadosamente analisados e gerenciados. Esta seção detalha os principais riscos identificados e suas implicações para o sucesso do projeto. Os riscos analisados para os casos foram selecionados a partir dos resultados das simulações do produto e da experiência dos pesquisadores.

1. Risco Econômico: Preço do Combustível

O cenário atual de Goiás apresenta desafios significativos quanto ao abastecimento de combustíveis gasosos que pode ser classificado em dois grandes grupos. O primeiro grande risco é o preço do combustível, seja gás natural ou biometano. Esses preços refletem uma série de condições que representam riscos reais para as operações. O custo do combustível é um fator crítico para a viabilidade do projeto. Tanto o gás natural quanto o biometano apresentam desafios específicos:

- Gás Natural (GNV): A ausência de infraestrutura local de distribuição em Goiás resulta na dependência da importação de GNL (gás natural liquefeito). Isso expõe o projeto a

flutuações nos preços do mercado internacional, além de adicionar complexidades logísticas no transporte e armazenamento.

- Biometano: A inexistência de produção local e a concentração do potencial produtivo no setor sucroenergético tornam o biometano vulnerável à sazonalidade. Durante a entressafra da cana-de-açúcar (dezembro a março), há uma redução significativa na oferta, o que pode impactar tanto a disponibilidade quanto os custos. Além disso, há baixa diversificação nas fontes de produção, com aproveitamento limitado de resíduos urbanos e aterros sanitários.

2. Risco Infraestrutural: Necessidades de Abastecimento

O segundo grande risco é referente às necessidades de infraestrutura de abastecimento. A mudança de combustível líquido para combustíveis gasosos muda significativamente as operações de frotas, muitas vezes demandando investimentos substanciais. Enquanto esse fator é crucial para veículos elétricos, também pode ser relevante para operações a GNV ou biometano. Essas possíveis mudanças substanciais na infraestrutura de abastecimento, incluem:

- Investimentos em estações de abastecimento específicas para GNV e biometano.
- Treinamento operacional para equipes e motoristas.
- Criação de redundâncias ou integração entre as infraestruturas de GNV e biometano para garantir segurança no abastecimento.

Esses fatores podem aumentar os custos iniciais do projeto e demandar planejamento detalhado.

3. Risco Logístico: Transporte e Distribuição

O terceiro grande risco refere-se às incertezas relacionadas a logística dos combustíveis. A ausência das infraestruturas de distribuição de gás tende a encarecer os preços de combustíveis e aumentar os riscos de grandes distâncias. O modal de GNC tem seu custo diretamente relacionado a distância das operações. Logo, a logística dos combustíveis gasosos é outro ponto crítico:

- GNV: O custo do transporte está diretamente relacionado à distância entre os pontos de produção e consumo. Em Goiás, onde não há infraestrutura consolidada, isso pode encarecer significativamente as operações.
- Biometano: A produção descentralizada em diferentes localidades aumenta os desafios logísticos. Além disso, o transporte em menor escala pode elevar os custos unitários.

4. Risco Ambiental

O quarto grande risco refere-se ao risco ambiental. Dependendo da qualidade das operações, questões como vazamentos de metano, redução das eficiências ou mesmo a limitada disponibilidade de biometano. Como a implementação desses projetos tem como principais objetivos os benefícios ambientais, esse risco tende a ser um risco reputacional importante. Este risco está associado à não entrega dos benefícios ambientais esperados pelas alternativas tecnológicas:

- Vazamentos de metano durante o transporte ou operação podem comprometer as vantagens ambientais.
- Reduções na eficiência operacional ou na disponibilidade de biometano podem limitar os ganhos ambientais.

5. Risco Regulatório

O quinto grande risco é o risco regulatório da implementação do projeto. O ambiente regulatório apresenta incertezas significativas. Há uma série de aspectos regulatórios que podem impactar diretamente a implementação das alternativas, como por exemplo:

- Necessidade de regulamentação específica para adaptações em garagens e veículos.
- Falta de definição sobre o marco regulatório estadual para distribuição de gás.
- Políticas insuficientes de incentivo ao uso do biometano.

Esses fatores criam barreiras adicionais que podem atrasar ou inviabilizar o desenvolvimento do projeto.

6. Risco Tecnológico

Por fim, outro grande risco é o risco de disponibilidade tecnológica. A implementação do projeto depende da oferta constante das tecnologias para as frotas. Logo, a disponibilidade tecnológica também representa um desafio importante:

- Há poucos fabricantes que oferecem veículos dedicados exclusivamente ao uso de gás natural ou biometano.
- A oferta comercial limitada de veículos dual fuel pode restringir as opções para operações em grande escala.

A Tabela 1 resume os principais riscos associados à implementação da troca de frota de ônibus com o objetivo de descarbonização.

Tabela 1 – Tipos de Riscos Analisados

Tipo de Risco	Descrição	Principais Condicionantes
Econômico	Flutuações nos preços do GNV e biometano	Dependência da importação (GNL), sazonalidade da produção (biometano)
Infraestrutural	Necessidade de novas estações e integração entre combustíveis	Investimentos iniciais elevados, necessidade de treinamento
Logístico	Custos elevados devido à ausência de infraestrutura	Distâncias longas (GNV), produção descentralizada (biometano)
Ambiental	Falha na entrega dos benefícios ambientais	Vazamentos, baixa eficiência operacional
Regulatório	Incertezas sobre normas e incentivos	Falta de regulamentação estadual e políticas específicas
Tecnológico	Oferta limitada de veículos adequados	Poucos fabricantes e baixa disponibilidade comercial

Fonte: Elaboração dos autores

4. Matriz de riscos para o *Business Case*

• **Alternativa GNV**

A substituição da frota diesel por veículos movidos a GNV envolve riscos econômicos, infraestruturais e logísticos significativos. Economicamente, as flutuações nos preços do GNV, influenciadas por importações² de GNL e cenários geopolíticos, representam um risco alto (probabilidade média e impacto elevado). Análises de sensibilidade indicam que variações de 20% no preço do GNV podem aumentar o custo total de propriedade em até 8%, retirando a margem de competitividade dessa alternativa. Na infraestrutura, a necessidade de investimentos em estações de abastecimento adaptadas em garagens ou pontos específicos e treinamento de pessoal tende a elevar os custos iniciais, especialmente para frotas de grande porte (probabilidade e impacto altos).

Logisticamente, a distribuição descentralizada do GNV em regiões com distâncias extensas entre pontos de abastecimento e sem infraestrutura de distribuição de gás tende a pressionar os custos de combustíveis. Embora o risco ambiental seja moderado (probabilidade baixa de vazamentos de metano), falhas operacionais podem gerar impactos reputacionais graves, como visto em casos internacionais (Clark et al., 2017; Da Pan et al., 2020; Ou et al., 2010). Do ponto de vista regulatório, a ausência de políticas específicas em Goiás exige adaptações, mas o risco é mitigado pela possibilidade de ajustes paralelos ao desenvolvimento do projeto. Tecnicamente, o limitado número de fabricantes de veículos a GNV pode limitar a escalabilidade para grandes frotas em um mercado em expansão, embora fornecedores existentes garantam capacidade básica de entrega. A Tabela 2 resume essas discussões.

² Incluindo importações de outros estados para Goiás.

Tabela 2 – Matriz de Riscos para a Alternativa GNV

Tipo de Risco	Descrição	Principais Condicionantes	Probabilidade	Impacto	Risco inerente	Discussão
Econômico	Flutuações nos preços do GNV	Dependência da importação (GNL)	Média - 5	Alto - 8	Risco Alto - 40	São esperadas flutuações nos preços de GNV, pois estas dependem de negociações internacionais. Ainda, as análises de sensibilidade mostraram um grande impacto dos preços do GNV nos custos totais.
Infraestrutura I	Necessidade de novas estações e integração entre combustíveis	Investimentos iniciais elevados, necessidade de treinamento	Alto - 8	Alto - 8	Risco Alto - 64	São esperadas algumas modificações nas garagens para abastecimento com combustíveis gasosos. Essas modificações podem elevar de modo significativo o custo dependendo do tamanho da frota
Logístico	Custos elevados devido à ausência de infraestrutura	Distâncias longas (GNV), produção descentralizada (biometano)	Média - 5	Alto - 8	Risco Alto - 40	A não existência de Infraestrutura de distribuição de gás adiciona o risco da logística do GNC ou GNL. Os impactos nos preços finais ao consumidor podem ser consideráveis, porém ainda há poucas negociações para identificar melhor os impactos.
Ambiental	Falha na entrega dos benefícios ambientais	Vazamentos, baixa eficiência operacional	Baixa - 2	Muito alto - 10	Risco Médio - 20	A probabilidade de ter falhas nas operações de logística e distribuição do GNV são

						pequenas, contudo experiências internacionais mostram que podem ocorrer. Em contrapartida, os riscos reputacionais podem ser muito grandes
Regulatório	Incertezas sobre normas e incentivos	Falta de regulamentação estadual e políticas específicas	Média - 5	Baixa - 2	Risco Médio - 10	É provável que haja necessidade de adaptação regulatória para a distribuição de gás nos estado de GO. Contudo, isso pode ser feito em paralelo ao desenvolvimento do projeto o que indica um baixo impacto.
Tecnológico	Oferta limitada de veículos adequados	Poucos fabricantes e baixa disponibilidade comercial	Baixa - 2	Alto - 8	Risco Médio - 16	Apesar de poucos produtores, eles têm capacidade de entrega, o risco baixo está mais associado a uma grande expansão desse mercado, o que pode atrasar algumas entregas. O impacto seria alto, pois atrasaria à implementação dos projetos.

Fonte: Elaboração dos autores

• **Alternativa Biometano**

O biometano apresenta riscos econômicos e regulatórios distintos, embora compartilhe desafios infraestruturais com o GNV. Economicamente, a sazonalidade da produção (dependente da safra de cana-de-açúcar em um primeiro momento) e a (limitada) diversidade de produtores elevam a pressão sobre os preços (risco alto). Apesar disso, sua matriz local reduz a dependência de importações, diferentemente do GNV. Na infraestrutura, os custos para adaptação de garagens e construção de estações são comparáveis aos do GNV, mas,

dependendo da localização e logística dos produtores de biometano, a integração com redes de biometano pode exigir investimentos adicionais.

Logisticamente, a produção descentralizada do biometano (em plantas regionais) requer um planejamento territorial refinado, demandando políticas específicas para isso ³. Ambientalmente, o risco de falha na redução de emissões é menor que no GNV, pois o biometano mantém benefícios mesmo com vazamentos pontuais. Ou seja, mesmo que haja falhas operacionais nas operações complementares de gás natural, a utilização do biometano dilui os impactos negativos. Do ponto de vista regulatório, a falta de normas claras para biometano em Goiás adiciona incertezas, exigindo diálogo com agências reguladoras, produtores, operadores logísticos e consumidores. Tecnicamente, os riscos são muito similares aos do GNV, uma vez que são combustíveis intercambiáveis (ver Tabela 3).

Tabela 3 – Matriz de Riscos para a Alternativa Biometano

Tipo de Risco	Descrição	Principais Condicionantes	Probabilidade	Impacto		Discussão
Econômico	Flutuações nos preços de biometano	Sazonalidade da produção (biometano) e diferentes produtores	Alto - 8	Alto - 8	Risco Alto - 64	São esperadas menos flutuações nos preços de biometano, mesmo que estes estejam em patamares mais elevados que o GNV. Contudo, as flutuações nos preços do GNV também afetam a alternativa do biometano por conta da necessária complementariedade. Ademais, as análises de sensibilidade mostraram um grande impacto dos preços do GNV nos custos totais.
Infraestrutura I	Necessidade de novas estações e integração entre combustíveis	Investimentos iniciais elevados, necessidade de treinamento	Alto - 8	Alto - 8	Risco Alto - 64	São esperadas algumas modificações nas garagens para abastecimento com combustíveis gasosos. Essas modificações podem elevar significativamente e o

³ O caso de São Paulo deixa clara a necessidade de planejamento territorial, como analisado em estudo contratado pela FIESP (<https://semil.sp.gov.br/2024/10/expansao-da-producao-de-biometano-pode-gerar-20-mil-empregos-no-estado-de-sp-revela-estudo/>).

						custo dependendo do tamanho da frota
Logístico	Custos elevados devido à ausência de infraestrutura	Distâncias longas (GNV), produção descentralizada (biometano)	Média - 5	Alto - 8	Risco Alto - 40	A inexistência de. Infraestrutura de distribuição de gás adiciona o risco da logística do GNC ou GNL. Os impactos nos preços finais ao consumidor podem ser consideráveis, porém ainda há poucas negociações para identificar melhor os impactos.
Ambiental	Falha na entrega dos benefícios ambientais	Vazamentos, baixa eficiência operacional	Baixa - 2	Médio - 5	Risco Médio - 10	A probabilidade de ter falhas nas operações de logística e distribuição do GNV são pequenas, contudo experiências internacionais mostram que podem ocorrer. Contudo, mesmo que os riscos reputacionais continuem muito alto, o uso do biometano dilui o impacto de possível aumento de emissões no GNV.
Regulatório	Incertezas sobre normas e incentivos	Falta de regulamentação estadual e políticas específicas	Alto - 8	Baixo - 2	Risco Médio - 16	É provável que haja necessidade de adaptação regulatória para a distribuição de gás e biometano nos estado de GO. O biometano aqui adiciona um outro layer de incerteza regulatória, mesmo havendo intercambialidade entre os combustíveis. Contudo, isso pode ser feito em paralelo ao desenvolvimento do projeto o que indica um baixo impacto.

Tecnológico	Oferta limitada de veículos adequados	Poucos fabricantes e baixa disponibilidade comercial	Baixa - 2	Alto - 8	Risco Médio - 16	Apesar de poucos produtores, eles têm capacidade de entrega, o risco baixo está mais associado a uma grande expansão desse mercado o que pode atrasar algumas entregas. O impacto seria alto, pois atrasaria a implementação dos projetos.
-------------	---------------------------------------	--	-----------	----------	------------------	--

Fonte: Elaboração dos autores

• Alternativa Dual-Fuel (GNV/Biometano + Diesel)

A opção Dual-Fuel mitiga riscos econômicos, mas introduz desafios ambientais e tecnológicos críticos. Economicamente, a flexibilidade de alternar entre diesel e gás reduz a exposição a flutuações de preço do GNV/biometano, resultando em risco baixo. Na infraestrutura, embora exija adaptações semelhantes às do GNV, a possibilidade de usar diesel diminui a urgência por investimentos em redes de gás e o impacto de falhas operacionais.

Do ponto de vista logístico, a infraestrutura existente para diesel compensa parcialmente a falta de estações de gás, reduzindo custos operacionais imediatos. Ambientalmente, porém, a dependência contínua do diesel, diferente da alternativa a biometano, não dilui totalmente os impactos de possíveis falhas ambientais, mantendo o risco reputacional. Em termos regulatórios, a opção Dual-Fuel enfrenta menos incertezas, pois o diesel já possui regulamentação consolidada. O maior risco reside no aspecto tecnológico: a escassez de veículos e conversores Dual-Fuel no mercado nacional (probabilidade muito alta e impacto alto) pode inviabilizar prazos de implementação, especialmente em larga escala. Essa limitada experiência de mercado também pode impactar custo operacionais, pressionando ainda mais um TCO já elevado. A Tabela 4 resume as discussões para essa alternativa.

Tabela 4 – Matriz de Riscos para a Alternativa Dual-Fuel

Tipo de Risco	Descrição	Principais Condicionantes	Probabilidade	Impacto		Discussão
Econômico	Flutuações nos preços de GNV e biometano	Dependência da importação (GNL), sazonalidade da produção (biometano) e diferentes produtores	Alto - 8	Muito Baixo - 1	Risco Baixo - 8	As operações com diesel tendem a diminuir os impactos negativos, pois há sempre a

							possibilidade de priorizar o diesel
Infraestrutural	Necessidade de novas estações e integração entre combustíveis	Investimentos iniciais elevados, necessidade de treinamento	Alto - 8	Baixo - 2	Risco Médio - 16		As operações com diesel tendem a diminuir os impactos negativos, pois há sempre a possibilidade de priorizar o diesel
Logístico	Custos elevados devido à ausência de infraestrutura	Distâncias longas (GNV), produção descentralizada (biometano)	Média - 5	Baixo - 2	Risco Médio - 10		As operações com diesel tendem a diminuir os impactos negativos, pois há sempre a possibilidade de priorizar o diesel
Ambiental	Falha na entrega dos benefícios ambientais	Vazamentos, baixa eficiência operacional	Baixa - 2	Muito alto - 10	Risco Médio - 20		Aqui a diluição das operações com diesel não ocorre porque o objetivo ambiental não é atingido.
Regulatório	Incertezas sobre normas e incentivos	Falta de regulamentação estadual e políticas específicas	Alto - 8	Muito Baixo - 1	Risco Baixo - 4		As operações com diesel diluem tanto os impactos dos riscos regulatórios
Tecnológico	Oferta limitada de veículos adequados	Poucos fabricantes e baixa disponibilidade comercial	Muito Alta - 10	Alto - 8	Risco Extremo - 80		Há pouca disponibilidade de mercado dessa opção e haveria necessidade de credenciar convertedores. Os impactos são significativos, pois pode não haver disponibilidade dessa tecnologia tanto para a implementação

Fonte: Elaboração dos autores

5. Estratégia para mitigação de riscos

A implementação de um projeto de transição energética na frota de ônibus em Goiás requer uma abordagem estruturada e progressiva para mitigação dos riscos identificados. Esta seção apresenta algumas sugestões de estratégias, considerando a criticidade e temporalidade dos desafios, bem como as especificidades do contexto local.

Estratégias para Riscos de Curto Prazo (0 – 2 anos)

- Garantia do fornecimento de combustíveis: estabelecer contratos sólidos de fornecimento de gás natural no estado de Goiás com proteções contra volatilidade de preços, além do desenvolvimento de hubs estratégicos com capacidade dual (bio)GNL/(bio)GNC para garantir flexibilidade operacional.
- Definir estratégia para a indústria do biometano: mapeamento detalhado do potencial técnico de produção de biometano, mapeamento de possíveis demandas de biometano, planejamento territorial, análises de gaps regulatórios e incentivos necessários. Isso permitirá ao estado elaborar uma política estadual de fomento com incentivos adequados.
- Capacitação e Treinamento: Investir em programas intensivos de treinamento para motoristas e equipes de manutenção sobre as especificidades dos novos combustíveis e tecnologias. Isso inclui desde a operação segura até a manutenção preventiva e corretiva.
- Programas de Incentivo: Desenvolver programas de incentivo para que empresas de transporte adotem práticas sustentáveis, como a utilização de combustíveis alternativos e a implementação de tecnologias de eficiência energética.
- Gestão e Governança: Desenvolver um sistema robusto de governança e monitoramento, de forma a subsidiar a implementação efetiva dessas estratégias de mitigação de riscos. Isso pode ser feito através da criação de um comitê executivo de gestão de riscos, com indicadores de performance e análise contínua de cenários para adaptação às mudanças de mercado.
- Monitoramento e Diagnóstico em Tempo Real: Implementar sistemas de telemetria para monitorar o desempenho dos ônibus em tempo real. Isso ajuda a identificar rapidamente problemas e tomar ações corretivas antes que se tornem críticos.
- Estabelecimento de Parcerias Locais: Colaborar com instituições de ensino e pesquisa locais e montadoras para desenvolver tecnologias e práticas operacionais que aumentem a

eficiência dos veículos movidos a gás natural e biometano. Essas parcerias podem oferecer suporte técnico contínuo e capacitação.

Desenvolvimento de Médio Prazo (2 – 5 anos)

- Expansão da Rede de Abastecimento: Continuar a expansão da rede de hubs de abastecimento, garantindo que haja redundância e acesso fácil ao combustível em várias partes do estado, minimizando o risco de interrupções no fornecimento.
- Redes estruturantes de distribuição de gás: Definir estratégia e começar a implementar redes estruturantes para distribuição de gás (biometano e gás natural), em regiões e localidades com demandas por estruturas de combustíveis (de acordo com o desenvolvimento de frotas)
- Desenvolvimento de Infraestruturas de Suporte: Criar instalações dedicadas para a manutenção de veículos movidos a biometano, equipadas com ferramentas e tecnologias especiais necessárias para a manutenção desses veículos.
- Implementação de Políticas de Incentivo: focar na implementação efetiva de uma política estadual de biometano, avançando nas ações mapeadas previamente, que podem incluir subsídios, créditos fiscais e outros incentivos financeiros, mas também planejamento territorial, articulação com políticas federais etc.
- Auditorias Regulares de Segurança: Realizar auditorias periódicas e rigorosas das operações de abastecimento e manutenção para garantir a aderência aos padrões de segurança e a identificação precoce de riscos potenciais.

Visão de Longo Prazo (+5 anos)

- Parcerias de Longo Prazo: Estabelecer parcerias estratégicas com produtores de biometano e fornecedores de tecnologia para garantir um fornecimento estável e contínuo de biometano e consolidar a indústria de biometano no estado.
- Integração de Políticas: Avaliar alinhamento de outras políticas que podem ser alavancas para a descarbonização do transporte, como políticas de mudanças climáticas, políticas de inovação, políticas nacionais, programas de corredores sustentáveis intra e interestaduais e práticas de planejamento urbano.
- Análise de Riscos Contínua: Manter um processo contínuo de análise de riscos, adaptando as estratégias conforme as condições de mercado e as novas tecnologias emergentes. Isso inclui a revisão e atualização periódica dos planos de mitigação.

6. Recomendações estratégicas e considerações finais

O mapeamento de riscos realizado evidenciou uma concentração significativa de desafios na oferta dos combustíveis (GNV e biometano), bem como em questões logísticas e nas infraestruturas de abastecimento. Estes riscos não se limitam apenas a impactos econômicos,

manifestados através de possíveis aumentos de custos, mas estendem-se também a impactos ambientais - com implicações reputacionais -, e regulatórios, demandando ações específicas para adequação do ambiente de negócios e desenvolvimento de projetos. Neste contexto, torna-se fundamental estabelecer estratégias que conectem objetivos de curto prazo com metas de longo prazo, proporcionando a previsibilidade necessária para atrair investimentos através de uma gestão adequada.

Para Goiás, a indústria do biogás e biometano deve ser considerada prioritária, uma vez que o biometano representa a única alternativa com benefícios ambientais efetivos, além do estado possuir expressiva produção de matérias orgânicas residuais. Esta priorização requer análises estratégicas específicas que contemplem o potencial de oferta e demanda, planejamento territorial, políticas de incentivos e estabelecimento de um quadro regulatório adequado.

Quanto ao desenvolvimento da indústria de gás natural em Goiás, é necessária uma abordagem mais abrangente que inclua variáveis não contempladas no presente estudo, como investimentos em infraestrutura de transporte de gás e alinhamento com políticas energéticas nacionais. No entanto, ações iniciais podem ser implementadas, como a identificação de hubs operacionais flexíveis vinculados às novas frotas e o desenvolvimento de estratégias para redes estruturantes que se integrem à expansão do biometano.

O dimensionamento das frotas deve ser realizado de maneira a estruturar esta nova indústria, sendo necessário associá-lo a um conjunto de políticas que viabilizem os investimentos. É fundamental considerar os potenciais de produção de biometano, os riscos relacionados à oferta dos combustíveis e possíveis falhas operacionais. O êxito na implementação de novas frotas a GNV ou biometano está condicionado à execução de um conjunto coordenado de políticas públicas, que devem incluir incentivos para redução dos custos de infraestrutura e logística do biometano, mecanismos de estímulo à demanda, programas de desenvolvimento da cadeia de fornecimento e estratégias para assegurar a competitividade dos preços.

7. Referências

- CGU, 2018. Metodologia de Gestão de Riscos. Brasília. Disponível em:
<https://www.gov.br/cgu/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/institucionais/arquivos/cgu-metodologia-gestao-riscos-2018.pdf>
- Clark, N.N., Johnson, D.R., McKain, D.L., Wayne, W.S., Li, H., Rudek, J., Mongold, R.A., Sandoval, C., Covington, A.N., Hailer, J.T., 2017. Future methane emissions from the heavy-duty natural gas transportation sector for stasis, high, medium, and low scenarios in 2035. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 67, 1328–1341.
<https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1368737>
- Da Pan, Tao, L., Sun, K., Golston, L.M., Miller, D.J., Zhu, T., Qin, Y., Zhang, Y., Mauzerall, D.L., Zondlo, M.A., 2020. Methane emissions from natural gas vehicles in China. *Nat. Commun.* 2020 111 11, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18141-0>
- Ou, X., Zhang, X., Chang, S., 2010. Alternative fuel buses currently in use in China: life-cycle fossil energy use, GHG emissions and policy recommendations. *Energy Policy* 38, 406–418. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.031>