

2024

BRASÍLIA/DF

APÊNDICE

AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE
DE AÇÕES GOVERNAMENTAIS DO DF

NOTAS METODOLÓGICAS



Governo do Distrito Federal - GDF

Ibaneis Rocha
Governador
Celina Leão
Vice-governador

Secretaria de Estado de Economia - SEEC

Ney Ferraz
Secretário

Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal – IPEDF Codeplan

Manoel Clementino Barros Neto
Diretor-Presidente
Renata Florentino de Faria Santos
Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - DEPAT
Dea Guerra Fioravante
Diretora de Estatística e Pesquisas Socioeconômicas - DIEPS
Marcela Machado
Diretora de Estudos e Políticas Sociais – DIPOS
Leandro Nonato Mota
Diretor de Administração Geral - DAG
Sônia Gontijo Chagas Gonzaga
Diretora de Desenvolvimento Institucional

AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE AÇÕES GOVERNAMENTAIS

NOTAS METODOLÓGICAS

**Brasília - DF
Maio - 2024**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais (COET/DEPAT)

Equipe Técnica IPEDF

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira- Gerente de Metrôpoles (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Bolsistas (Chamada Pública n.º 02/2023/IPEDF Codeplan)

Leticia Gomes da Silva – Bolsista

Rafael Salles Pereira – Bolsista

Fabiana Oliveira Machado – Bolsista

Rebeca Borges de Oliveira – Bolsista

Carlos Augusto Zangrando Toneli – Bolsista

SUMÁRIO

APÊNDICE I: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões do deslocamento por motivo de trabalho ou estudo nas Regiões Administrativas do DF)	5
APÊNDICE II: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito Federal)	24
APÊNDICE III: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões de ônibus)	39
APÊNDICE IV: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Fundamentação teórica sobre a utilização do VKV na avaliação das emissões de novas ampliações viárias)	55
APÊNDICE V: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MUDANÇA DE USO DO SOLO E URBANIZAÇÃO (Estoque de carbono da Cobertura Vegetal e Fatores de emissão, remoção de CO ₂ e)	62
APÊNDICE VI: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO (Práticas de manejo do solo de baixo carbono)	83
APÊNDICE VII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE CONSUMO ENERGÉTICO (Estimativas do Fator de Emissão de GEE do consumo energético do Distrito Federal)	95
APÊNDICE VIII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE RESÍDUOS (Estimativas emissões de geração de resíduos sólidos)	105

**APÊNDICE I: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE
MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de
emissões do deslocamento por motivo de trabalho ou
estudo nas Regiões Administrativas do DF)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Equipe Técnica do IPEDF Codeplan

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica- Estimativa de emissões do deslocamento por motivo de trabalho ou estudo nas Regiões Administrativas do DF

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

SUMÁRIO

APÊNDICE I: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões do deslocamento por motivo de trabalho ou estudo nas Regiões Administrativas do DF)	5
EQUIPE RESPONSÁVEL	6
SUMÁRIO	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO	8
3. BASES DE DADOS UTILIZADAS	8
4. DADOS E TRANSFORMAÇÕES DA PDAD 2021	9
4.1. Variáveis Auxiliares	9
5. EXPANSÃO DA AMOSTRA E CÁLCULO DE ESTIMATIVAS	10
5.1. Distribuição dos deslocamentos	11
5.2. Índice de ocupação veicular	13
5.3. Ocupação média dos domicílios	14
6. DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS DE ORIGEM E DESTINO	15
7. FATOR DE CORREÇÃO DOS DADOS DA PDAD 2021 COM BASE NAS EMISSIONES DECORRENTES DA VENDA DE COMBUSTÍVEL NO DF EM 2021 E FATORES DE EMISSÃO UTILIZADOS	16
8. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÕES ADMINISTRATIVAS	20
9. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	22
10. REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta as questões metodológicas a respeito do uso dos dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) 2021 para a produção de indicadores de mobilidade para trabalho e estudo. O objetivo é permitir a estimativa de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) decorrentes do deslocamento por motivo de trabalho ou estudo nas Regiões Administrativas (RA) do Distrito Federal (DF).

A PDAD é uma pesquisa amostral realizada pelo Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal (IPEDF Codeplan) realizada bienalmente, que contém informações sobre a Região Administrativa de moradia e a localidade de trabalho ou estudo, motivo e modal do deslocamento (carro, ônibus, metrô, bicicleta ou a pé), posse de veículos, pessoas com habilitação para dirigir, taxa de ocupação domiciliar. A partir dos dados da pesquisa, serão levantados os padrões de deslocamento típicos de cada Região Administrativa que irão repercutir nas emissões de gases de efeito estufa (GEE).

O estudo utiliza metodologia consolidada para estimativa de emissões da frota de veículos (seja pelo método *top-down* ou *bottom-up*) e inova ao desenvolver um modelo de emissão de GEE decorrente de viagens, construído a partir de uma matriz O-D com base em dados de Pesquisa de Amostra de Domicílios.

2. OBJETIVO

O objetivo é desenvolver uma metodologia para estimar as emissões anuais de gases de efeito estufa decorrente das viagens com modais poluentes, em função da distância percorrida no deslocamento casa-trabalho, da taxa de motorização da população, tendo como dado de entrada a quantidade de domicílios ou a população estimada. Tal metodologia poderá ser aplicada tanto para avaliar a realidade de emissões de diferentes localidades do DF como para simular o impacto de emissões de GEE em novos empreendimentos.

3. BASES DE DADOS UTILIZADAS

- PDAD 2021 estão disponíveis no site do IPEDF, em formato .csv, disponíveis no link: <https://www.codeplan.df.gov.br/microdados-pdad-2021/>;

- Foram usados os dados da pesquisa de moradores, domicílios e o dicionário de variáveis;
- Foram utilizados dados da Pesquisa de Mobilidade Urbana - PMU de Novembro de 2017 disponível no link: https://www.metro.df.gov.br/arquivos/relatorios_finais_PDDT_PMU.rar;
- Consumo de combustíveis no DF em 2021, por meio de solicitação à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), via Lei de Acesso à Informação (LAI);
- Composição da frota de veículos do DF por classe veicular e fonte de propulsão (combustível consumido), por meio de solicitação ao Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN/DF), via Lei de Acesso à Informação (LAI).

4. DADOS E TRANSFORMAÇÕES DA PDAD

2021

Para os fins desta pesquisa, foram criadas algumas variáveis auxiliares, derivadas das variáveis originais, para facilitar a análise dos dados. Tais variáveis permitiram a construção de um retrato dos padrões de deslocamentos nas RA para motivos de trabalho e estudo. As manipulações dos dados da PDAD foram realizadas por meio do *software* estatístico R.

4.1. Variáveis Auxiliares

Para construção da matriz de deslocamento, a primeira variável criada diz respeito aos locais de destino para trabalho ou estudo (variável I08-PDAD 2021). Caso fossem utilizadas todas as Regiões Administrativas como variáveis de destino, haveria um número muito grande de categorias, o que poderia tornar alguns pares de origem-destino não significantes estatisticamente. Tal fato é um reflexo da concentração de empregos em determinadas localidades do DF. Por isso, foram criadas duas variáveis, uma para trabalho e outra para estudo, que agrupam as RAs em categorias que envolvem as principais localidades e agrupam as demais com outras respostas possíveis: “Plano Piloto”, “Taguatinga/Ceilândia”,

“Na própria RA”, “Demais locais”, como destinos possíveis e “Não se aplica”, “No domicílio”, “Não sabe” como categorias residuais.

Em seguida, foi preciso definir as pessoas que se enquadraram no critério de deslocamento. Foram consideradas apenas as pessoas que trabalham e/ou estudam. Não foram consideradas para fins de cálculo de deslocamento as pessoas que não sabem informações do local de deslocamento, que não trabalham nem estudam ou que fazem as atividades no próprio domicílio e, portanto, não reportaram deslocamentos.

Uma vez identificadas as pessoas que se locomovem para trabalho ou estudo e seus respectivos destinos, pode-se calcular a distribuição dos modais de transporte. Para isso, foram analisadas as informações das variáveis que indicavam o principal meio de transporte para as atividades (variável I09_8-PDAD 2021). Pessoas que utilizavam de modais não motorizados de maneira mais frequente também não foram consideradas no cálculo do padrão de deslocamento¹.

Os tipos de transporte também tiveram que ser agrupados para que as categorias de ônibus e automóvel contemplassem as variações disponíveis na PDAD 2021 (escolar público ou privado). Os detalhes do agrupamento podem ser vistos no código original deste relatório. Ademais, para essa fase de estimação, variáveis cujo coeficiente de variação foi superior a 0,4, foram desconsideradas na construção da matriz de deslocamento.

5. EXPANSÃO DA AMOSTRA E CÁLCULO DE ESTIMATIVAS

Por se tratar de uma pesquisa em conglomerados de estágio único, os microdados precisam ser avaliados a partir de procedimentos estatísticos de expansão da amostra, tanto para dados referentes ao domicílio quanto aos moradores. Nessa pesquisa, as análises foram feitas com o auxílio dos pacotes survey e srvyr, disponíveis para uso com o *software* R.

¹ Há algumas incongruências de pessoas que responderam que não trabalham nem estudam mas usam meios de transporte para trabalho ou estudo. Estas pessoas também não foram consideradas.

5.1. Distribuição dos deslocamentos

Para a análise das distribuições de origem e destino de deslocamento para trabalho ou estudo, foram usados os dados da amostra pós-estratificada para os dados de total populacional por sexo e idade. As distribuições dizem respeito a toda a população, para que se acesse efetivamente a proporção de pessoas que realiza o deslocamento nas RAs de acordo com os modais de interesse.

Quadro 1: Exemplo distribuição dos deslocamentos para motivo de trabalho

Deslocamento por automóveis em destaque

RA de origem	RA de destino	Transporte mais usado	População (%)
Ceilândia	Taguatinga/Ceilândia	Automóvel	1,9
Ceilândia	Taguatinga/Ceilândia	Metrô	0,3
Ceilândia	Taguatinga/Ceilândia	Ônibus	3,0
Ceilândia	Plano Piloto	Automóvel	3,1
Ceilândia	Plano Piloto	Metrô	1,5
Ceilândia	Plano Piloto	Motocicleta	0,4
Ceilândia	Plano Piloto	Ônibus	5,8
Ceilândia	Demais locais	Automóvel	1,7
Ceilândia	Demais locais	Metrô	0,6
Ceilândia	Demais locais	Motocicleta	0,3
Ceilândia	Demais locais	Ônibus	3,1
Ceilândia	Na própria RA	Automóvel	4,1
Ceilândia	Na própria RA	Não motorizado	5,8
Ceilândia	Na própria RA	Ônibus	5,4
Ceilândia	Não desloca / não sabe	Não desloca	62,5

Fonte: Elaboração Própria com dados da PDAD 2021.

Quadro 2: Exemplo distribuição dos deslocamentos para motivo de estudo
Deslocamento por automóveis em destaque

RA de origem	RA de destino	Transporte mais usado	População (%)
Ceilândia	Taguatinga/Ceilândia	Automóvel	0,7
Ceilândia	Taguatinga/Ceilândia	Ônibus	1,8
Ceilândia	Plano Piloto	Ônibus	0,6
Ceilândia	Demais locais	Não motorizado	0,8
Ceilândia	Na própria RA	Automóvel	2,3
Ceilândia	Na própria RA	Não motorizado	15,0
Ceilândia	Na própria RA	Ônibus	4,1
Ceilândia	Não desloca / não sabe	Não desloca / não motorizado	73,2

Fonte: Elaboração Própria com dados da PDAD 2021.

Também foram usados dados sobre a distribuição de viagens no Distrito Federal por distintos motivos. Segundo dados da Pesquisa de Mobilidade Urbana de 2017, do total de viagens realizadas por ônibus, 82,3% são por motivos de estudo e trabalho. Já para as viagens de carro, a taxa cai para 67,7% (CONSÓRCIO PDTT/DF 2017), o que indica uma maior taxa de mobilidade para aqueles que se deslocam com veículos privados principalmente para deslocamentos de longa distância. Estes dados foram utilizados como fatores de correção da quantidade de emissões da calculadora tendo em vista que são fruto da pesquisa origem-destino mais recente realizada no DF.

Tabela 1: Totais de viagem por modo e motivo

Modo/motivo	Trabalho	Estudo	Outros	Total por modo
Público coletivo	640.875	352.555	213.595	1.206.870
Privado individual	1.017.054	600.074	768.566	2.385.178

Fonte: PMU, 2017 - Relatório 'Brasília PDTT - PET-3C', pág. 65

5.2. Índice de ocupação veicular

Foi contabilizada a quantidade de carros por domicílio em relação às pessoas que trabalham ou estudam e usam automóvel como meio principal de deslocamento. Nesse sentido, para cada domicílio, adota-se a seguinte regra de decisão: se há mais carros no domicílio do que pessoas que trabalham ou estudam e possuem CNH, então considera-se a quantidade de carros para esse tipo de deslocamento igual à quantidade de pessoas que o realizam. Se a quantidade for menor, utiliza-se o total de veículos. Esse procedimento garante a ideia intuitiva de que haverá, no mínimo, a ocupação de uma pessoa por carro. Para motocicletas, utilizou-se uma taxa unitária de ocupação veicular. Para os ônibus, utilizou-se a taxa de 55 ocupantes por veículo.

Tabela 2: Ocupação média de pessoas por automóvel

RA	Média de pessoas por automóvel	RA	Média de pessoas por automóvel
Itapoã	1,20	Sudoeste e Octogonal	1,35
Núcleo Bandeirante	1,22	Distrito Federal	1,35
Sobradinho II	1,25	Águas Claras	1,36
Park Way	1,27	Plano Piloto	1,36
Varjão	1,30	Lago Sul	1,38
Lago Norte	1,30	Guará	1,38
Taguatinga	1,30	Paranoá	1,39
Recanto Das Emas	1,31	Cruzeiro	1,40
Brazlândia	1,31	Riacho Fundo II	1,40
Candangolândia	1,32	Planaltina	1,40
Gama	1,33	Riacho Fundo	1,40
Sobradinho	1,33	SIA	1,40
Sol Nascente / Pôr do Sol	1,33	Jardim Botânico	1,43
Santa Maria	1,33	Arniqueira	1,44
Samambaia	1,34	São Sebastião	1,45
Ceilândia	1,34	Vicente Pires	1,50
SCIA	1,34		
Sudoeste e Octogonal	1,35		

Fonte: Elaboração Própria com dados da PDAD 2021.

A ocupação média de 1,35 pessoas por veículo se encontra coerente com o valor de 1,3 +/- 0,2 obtido para o horário de pico por Silva (2024) que realizou a filmagem de diversos fluxos no Distrito Federal.

5.3. Ocupação média dos domicílios

Sabe-se que os deslocamentos são dados relacionados à população (moradores). Entretanto, como o dado de entrada da programação poderá ser o número de domicílios existente ou criado em determinada localidade, é necessário estimar a Taxa de ocupação média dos domicílios. Esta taxa foi calculada com base no número médio de moradores por domicílio em cada Região Administrativa de acordo com a PDAD 2021.

Tabela 3: Média de pessoas por domicílio

RA	Média de pessoas por domicílio	RA	Média de pessoas por domicílio
Sudoeste e Octogonal	2,1	Itapoã	2,9
Plano Piloto	2,2	Santa Maria	2,9
Núcleo Bandeirante	2,3	Paranoá	2,9
SIA	2,5	Sol Nascente / Pôr do Sol	2,9
Taguatinga	2,6	Planaltina	3,0
Guará	2,6	Ceilândia	3,0
Cruzeiro	2,6	Riacho Fundo	3,0
Águas Claras	2,6	Varjão	3,0
Park Way	2,6	Recanto Das Emas	3,1
Candangolândia	2,7	São Sebastião	3,1
Sobradinho	2,7	Lago Sul	3,2
Samambaia	2,7	Brazlândia	3,2
Lago Norte	2,7	SCIA	3,4
Distrito Federal	2,7		
Arniqueira	2,8		
Vicente Pires	2,8		
Riacho Fundo II	2,8		
Sobradinho II	2,8		
Gama	2,8		
Jardim Botânico	2,9		

Fonte: Elaboração própria com dados da PDAD 2021

6. DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS DE ORIGEM E DESTINO

Para avaliar as distâncias percorridas, foram estimadas as distâncias entre as RAs de origem e os destinos customizados, divididos nas seguintes categorias: “Taguatinga/Ceilândia”, “Plano Piloto”, “Na própria RA” e “Demais locais”. Os dados foram coletados em pesquisa à parte. Os centroides das RAs (pontos representando o baricentro das feições) foram extraídos dos polígonos de ocupação urbana utilizados na pesquisa e que foram de elaboração própria.

Utilizou-se o *ORSTools Qgis Plugin* para o cálculo das distâncias entre todos os centroides das RAs do DF. O *plugin*, livre e de código aberto, oferece acesso à algumas API - *Application Programming Interface* - do *OpenRouteService*, o qual utiliza o geocoder PELIAS e dados do OpenStreetMaps para suas computações. O serviço utilizado foi a matriz tempo-distância, que permite obter informações de tempo e distância entre origens e destinos definidos.

Com isso, foram calculados todos os tempos de deslocamento e distância percorrida entre os centroides utilizando o carro como meio de transporte. Para a categoria “Demais Locais”, a distância calculada foi a média de todas as distâncias que não fizessem parte das outras categorias, a saber, “Taguatinga/Ceilândia”, “Plano Piloto” e “Na própria RA”. Para a categoria “Taguatinga/Ceilândia”, a distância considerada foi a média das duas distâncias.

Já o procedimento para calcular as distâncias percorridas dentro da própria RA foi diferente. Foi calculada a média das distâncias entre o centroide da poligonal definida para a ocupação da RA e os vértices desse polígono, em linha reta. Essa decisão foi tomada para que a calculadora pudesse contabilizar os deslocamentos, por motivo de estudo e/ou trabalho, dentro da própria RA, já que, utilizando o método anterior, esses deslocamentos, que correspondem em média a 40% das viagens, teriam a distância de 0Km. Dessa forma, capturaram-se questões de dispersão ou compacidade da mancha urbana. Localidades com ocupações dispersas, apresentando mais de um polígono de mancha urbana, têm viagens internas com maior quilometragem em relação às ocupações mais compactas.

Quadro 3: Exemplo de distâncias dos deslocamentos

RA	RA_deslocamento	Distância
Ceilândia	Plano Piloto	27,6
Ceilândia	Taguatinga/Ceilândia	4,7
Ceilândia	Demais locais	31,1
Ceilândia	Na própria RA	3,1

Fonte: Elaboração própria, 2024

Foram considerados anualmente 250 dias úteis para o cálculo anual dos deslocamentos laborais totalizando 500 viagens anuais se consideradas diariamente 2 viagens, uma de ida e outra de volta. Já para as viagens por motivo de estudo foram considerados o mínimo de 200 dias letivos estabelecidos pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996), totalizando 400 viagens anuais. Vale ressaltar que as decisões de quantidade e motivo de viagens possivelmente implica no subdimensionamento das emissões já que não são consideradas as viagens que ocorrem por outros motivos e as que ocorrem em feriados, pontos facultativos e fins de semana.

7. FATOR DE CORREÇÃO DOS DADOS DA PDAD 2021 COM BASE NAS EMISSÕES DECORRENTES DA VENDA DE COMBUSTÍVEL NO DF EM 2021 E FATORES DE EMISSÃO UTILIZADOS

O recorte amostral da PDAD utiliza a variável renda para definição do tamanho da amostra. Assim, estimativas de variáveis não levadas em consideração no plano amostral podem levar a inconsistências estatísticas, como é o caso das variáveis derivadas utilizadas nesse projeto. Foi adotado, portanto, um fator de reponderação dos dados utilizados da PDAD 2021 para permitir a correta estimativa das viagens no DF. Nesse caso, os dados coletados da PDAD permitiram traçar o cenário relativo de emissões entre as RAs, pelos motivos de trabalho e estudo.

O objetivo principal do método empregado nesta pesquisa foi obter estimativas da emissão de poluentes por motivos de trabalho e estudo que sejam coerentes com as estimativas de emissões de acordo com a metodologia “*top*

down”, calculada com os dados de venda de combustível. Foram adotados os dados de venda de combustível no DF para 2021, fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), via Lei de Acesso à Informação (LAI).

Tabela 4: Dados sobre venda de combustível para o Transporte Rodoviário

Ano	Etanol Hidratado (L)	Gasolina C (L)	Diesel (L)
2021	86.799.397	1.045.611.307	332.299.298

Fonte: ANP (Consumo de combustível no DF)

Para o cálculo da emissão, foram utilizados os fatores ponderados pela frota de veículos do DF - Ver Quadro 5 - Fator de Emissão da frota de automóveis do DF no APÊNDICE II: Nota Metodológica do Setor de Mobilidade e Transporte (Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito Federal).

Tabela 5: Emissões por combustível vendido em 2021 para transporte rodoviário

Emissões top-down	tCO ₂ e
Etanol	1.228
Gasolina	1.749.983
Diesel	773.628

Fonte: ANP (Consumo de combustível no DF)

Com esses fatores, as emissões absolutas foram obtidas conjugando a estrutura relativa calculada com os dados da PDAD 2021 com o total de emissões estimados de maneira *top down*. Atualizações da PDAD que poderão refletir na atualização do modelo devem ser calibradas com o dado de venda do combustível do ano equivalente.

Para o cálculo das emissões, foram utilizados os dados da idade da frota de veículos e estrutura de emissão dos combustíveis, constantes da Nota Metodológica - Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito Federal disponível no Apêndice II: Nota Metodológica do Setor Mobilidade e Transporte (Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito Federal) Quadro 3 - Rendimento da frota de automóveis do DF.

Portanto, o modelo lógico de elaboração do fator de correção para o total de emissões pode ser sintetizado conforme os blocos a seguir:

PDAD / IPEDF

- Média de moradores por domicílio
- Região Administrativa (RA) origem e destino
- Modal principal de transporte pelos motivos de trabalho ou estudo
- Taxa de ocupação de automóveis

Geoinformações

- Distâncias médias entre RA

Emissões GEE

- Emissões médias considerando a frota do DF

Imputações

- Taxa de ocupação de ônibus e motocicletas
- Média de viagens anuais

Os blocos acima indicam os dados utilizados para a estimativa das emissões de GEE das RA. Esta estimativa permitiu construir um cenário relativo de emissões entre as regiões, de modo a identificar a participação proporcional de cada uma no total anual de emissões per capita.

Já o bloco a seguir indica os dados utilizados para estimar as emissões de GEE de acordo com os modais automóvel, motocicleta e ônibus pelos motivos de trabalho e estudo. Estes valores, derivados da metodologia top down, foram distribuídos entre as RA de acordo com as suas respectivas contribuições relativas anteriormente calculadas. Com isso, conseguiu-se que os totais emitidos pela presente metodologia estivessem compatíveis, em ordem de grandeza, com as estimativas puramente top down.

Distribuição do total de emissões para compor o fator de correção

- Distribuição das emissões de acordo com a quantidade de viagens pelos motivos de trabalho e estudo (Pesquisa de Mobilidade Urbana)
- Distribuição das emissões dos diferentes combustíveis pelos tipos de veículos (características da frota do Distrito Federal)

Com isso, pode-se calcular o total anual de viagens geradas para um impacto de 1000 unidades (domicílios ou pessoas), como se pode ver na tabela a seguir para a RA de Ceilândia.

Tabela 6: Exemplo de emissões geradas para um impacto de 1000 domicílios na RA Ceilândia

RA	Emissões de CO2 anuais (ton)
Ceilândia	594,3

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

8. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÕES ADMINISTRATIVAS

Tabela 7: Resultados encontrados por Regiões Administrativas

(continua)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	População PDAD 2021	Domicílios PDAD 2021	Renda média domiciliar PDAD 2021 R\$	Lotes até 250 m2	Lotes entre 250- 500 m2	Lotes entre 500-1000 m2	Emissões veiculares relativas às viagens por RA tCO2/ano	Emissões veiculares relativas às viagens por hab kgCO2/ano/hab
RA I - Plano Piloto	224848	91294	14.087,00	4.089	1.187	1.765	102.901,00	457,65
RA II - Gama	137331	46819	5.034,40	7.570	11.631	110	67.071,00	488,39
RA III - Taguatinga	210498	76553	5.816,30	17.328	14.678	988	97.646,00	463,88
RA IV - Brazlândia	55879	15408	3.425,60	8.926	526	100	29.871,00	534,57
RA IX - Ceilândia	350347	110111	4.491,10	63.623	1.620	252	70.335,00	200,76
RA V - Sobradinho	73438	23131	6.010,80	3.599	4.601	3.975	62.694,00	853,70
RA VI - Planaltina	186498	49852	3.114,20	15.563	3.598	1.037	110.154,00	590,64
RA VII - Paranoá	69858	20969	2.843,60	7.348	149	5	19.549,00	279,84
RA VIII -Núcleo Bandeirante	24093	8308	5.486,00	3.154	375	81	10.147,00	421,16
RA X - Guará	142083	47060	7.979,00	17.126	580	155	90.935,00	640,01
RA XI - Cruzeiro	30860	11323	9.858,60	1.945	339	27	9.022,00	292,35
RA XIII - Santa Maria	130970	38190	3.813,90	18.649	93	141	115.140,00	879,13
RA XIV - São Sebastião	118972	31776	2.649,50	6.877	633	116	28.510,00	239,64
RA XIX - Candangolândia	16339	4703	5.612,50	3.038	42	14	12.037,00	736,70
RA XV - Recanto Das Emas	133564	36420	3.226,30	26.024	195	59	36.486,00	273,17
RA XVI - Lago Sul	30446	9018	31.322,90	32	3	8.131	40.298,00	1.323,59

Tabela 7: Resultados encontrados por Regiões Administrativas

(conclusão)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	População PDAD 2021	Domicílios PDAD 2021	Renda média domiciliar PDAD 2021 R\$	Lotes até 250 m2	Lotes entre 250- 500 m2	Lotes entre 500-1000 m2	Emissões veiculares relativas às viagens por RA tCO2/ano	Emissões veiculares relativas às viagens por hab kgCO2/ano/hab
RA XVII - Riacho Fundo	44464	12667	5.101,60	5.106	39	5	20.185,00	453,96
RA XVIII - Lago Norte	37539	13897	15.867,10	61	0	5.119	49.213,00	1.310,98
RA XX - Águas Claras	120107	52014	14.056,70	0	261	148	82.364,00	685,76
RA XXI - Riacho Fundo II	72988	16722	3.863,50	10.673	301	91	52.005,00	712,51
RA XII - Samambaia	247629	68788	4.128,20	44.486	1.061	1.368	80.214,00	323,93
RA XXII - Sudoeste e Octogonal	55366	23546	15.390,60	0	178	107	25.995,00	469,51
RA XXIII - Varjão	8953	2497	2.907,20	1.209	18	2	3.981,00	444,66
RA XXIV - Park Way	23081	6098	18.138,20	3	0	0	48.616,00	2.106,32
RA XXIX - SIA	37527	905	5.998,40	108	60	4	27.845,00	742,00
RA XXV - SCIA	37527	10640	2.014,00	7.787	190	23	5.958,00	158,77
RA XXVI - Sobradinho II	78837	25951	3.808,80	4.643	809	760	98.448,00	1.248,75
RA XXVII - Jardim Botânico	53045	21237	14.908,40	160	498	4.817	104.300,00	1.966,26
RA XXVIII - Itapoã	65373	17168	2.475,20	13.078	1.336	66	48.922,00	748,35
RA XXX - Vicente Pires	78561	25292	7.775,30	327	1700	2.234	61.711,00	785,52
RA XXXI - Fercal	9388	1848	2.186,10	1.422	568	199	5.054,00	538,35
RA XXXII - Sol Nascente / Pôr do Sol	90574	29114	2.188,30	3.355	777	103	19.713,00	217,65
RA XXXIII - Arniqueira	47045	14493	7.052,90	222	271	365	46.942,00	997,81

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

9. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Para o desenvolvimento do presente modelo de cálculo, foram utilizadas diversas bases de dados e de fontes distintas. Essa diversidade de fontes e, em alguns momentos, a falta de certas informações empíricas específicas implicam o surgimento de algumas limitações para o estudo.

Devido ao agrupamento das Regiões Administrativas para cálculo do número de viagens e à utilização da distância média nas viagens, existe a subestimação da quilometragem para a categoria "outras localidades". As distâncias são determinantes para o cálculo de emissões de forma que essa subestimação poderá gerar um erro no resultado final, motivo pelo qual buscou-se a correção do modelo com base no cálculo de emissões decorrente da venda de combustível no DF. Porém, como o modelo será usado tanto para cálculo de emissões adicionais, como para emissões evitadas nas etapas seguintes de avaliação de ações governamentais, possíveis erros de subestimação serão anulados.

Foram considerados no estudo os deslocamentos dos moradores do Distrito Federal. Por isso, o modelo não capta as emissões do trânsito diário de 12 municípios da Periferia Metropolitana de Brasília (PMB) que têm forte relação com o Distrito Federal, tanto em questões de utilização de serviços, mercado de trabalho e estudo. O estudo tampouco apreende as emissões do tráfego de passagem para conexão norte-sul do país que atravessa o território do DF, seja de carga ou de passageiros, que causam impactos no total de emissões de GEE no território. Eventualmente, o abastecimento desses veículos no DF pode estar indiretamente computado nas emissões, considerando que o fator de correção de viagens retromencionado responde às emissões por esse dado.

Finalmente existe a questão das viagens que não acontecem por motivos de estudo ou trabalho. De acordo com a PMU, essas viagens representam cerca de 29% das viagens total, ou seja, um número expressivo de viagens e que representam muitas emissões não levadas em conta no cálculo. Essas viagens não foram contabilizadas por uma limitação presente na PDAD, que só pergunta o meio de transporte utilizado para os deslocamentos por motivo de estudo e trabalho. Apesar dessa limitação, o uso da PDAD como base de dados permite uma

atualização bienal da característica das emissões relativa entre as RAs utilizadas na ferramenta de cálculo.

10. REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 9.394**. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. 20 dez. 1996, Diário Oficial da União nº247. Sec. 1.

CONSÓRCIO PDTT/DF. **Pesquisa de Mobilidade Urbana do Distrito Federal - PMU/DF**. [s.l.] METRÔ-DF, 2017.

SILVA, Edwin Francisco Ferreira. **Modelo numérico dos consumos energéticos e emissões de CO₂ como apoio aos planos de mobilidade**. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, 2024.139 f.

**APÊNDICE II: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR
DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Cálculo do
Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos
Veículos do Distrito Federal)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais (COET/DEPAT)

Equipe Técnica IPEDF

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira- Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica: Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito Federal

Rafael Salles Pereira – Bolsista

SUMÁRIO

APÊNDICE II: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Cálculo do Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa dos Veículos do Distrito

Federal)	24
EQUIPE RESPONSÁVEL	25
SUMÁRIO	26
1. INTRODUÇÃO	27
2. OBJETIVO	27
3. BASES DE DADOS UTILIZADAS	27
4. FATOR DE EMISSÃO DE AUTOMÓVEIS	28
4.1. Composição da frota de veículos do Distrito Federal segundo o combustível de propulsão	28
4.2. Composição da frota de automóveis e motocicletas do Distrito Federal segundo o combustível de propulsão	30
4.3. Rendimento médio de combustível	32
4.4. Consumo médio de Diesel no DF em 2021 por ônibus e utilitários	35
4.5. Emissão média de CO ₂ e	36
5. LIMITAÇÕES DA NOTA	37
6. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Este documento descreve o procedimento metodológico adotado para a obtenção dos Fatores de Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) das principais categorias de veículos utilizados nos deslocamentos urbanos no Distrito Federal (DF). As categorias abordadas neste trabalho são automóveis, motocicletas e ônibus. Esses Fatores de Emissão serão utilizados na ferramenta de cálculo de emissões em desenvolvimento, cujo propósito é facilitar a tomada de decisões relacionadas a projetos e políticas governamentais.

2. OBJETIVO

O objetivo primordial do desenvolvimento deste procedimento metodológico é compor um fator de emissão médio para cada categoria de veículo, considerando a diversidade na composição da frota de cada grupo. Isso visa evitar uma complexidade excessiva na estimativa de emissões por parte da ferramenta de cálculo.

3. BASES DE DADOS UTILIZADAS

- Composição da frota de veículos do DF por classe veicular e fonte de propulsão (combustível consumido) - Por meio de solicitação ao Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN/DF), via Lei de Acesso à Informação (LAI);
- Consumo de combustíveis no DF - Por meio de solicitação à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), via Lei de Acesso à Informação (LAI);
- Consumo médio dos veículos e Fatores de Emissão dos combustíveis – Dados compilados e utilizados na Ferramenta de Cálculo de Emissões de GEE do GHG Protocol Brasil <<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>>²;

² Para acessar a versão 2023.0.3 da Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2023, foi preciso responder o seguinte formulário:
<<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEds nEb3OLB0Q/viewform>>

- Idade da frota de veículos do DF – Dados da Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN) disponíveis no sítio <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>>.

4. FATOR DE EMISSÃO DE AUTOMÓVEIS

Para calcular um Fator de Emissão Médio para os automóveis do Distrito Federal, adotou-se a abordagem preconizada pela Calculadora de Emissões Evitadas e Removidas do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2023). Nesse contexto, a metodologia baseia-se na análise da distribuição percentual de automóveis categorizados conforme o tipo de combustível utilizado, assim como realizado na Calculadora de Emissões Evitadas e Removidas do BNDES³. A partir dessa distribuição, foi possível determinar um Fator de Emissão em gramas de CO₂ equivalente por quilômetro percorrido (gCO₂e/km).

4.1. Composição da frota de veículos do Distrito Federal segundo o combustível de propulsão

Conforme os dados do DETRAN de 23/08/2023, automóveis respondem por 67,88% da frota do Distrito Federal, seguidos por motocicletas (12,88%) e caminhonetes (7,06%). Os caminhões compõem 1,35% da frota e os ônibus 0,67%, sendo que os que fazem parte do Sistema de Transporte Coletivo (STC) do DF participam com 0,15% da frota total. A Tabela 1 apresenta o quantitativo de cada classe e a sua representação percentual do total.

³BNDES, Way Carbon. 2024. Relatório Metodológico- Emissões evitadas e Removidas. v. 4.0, janeiro 2024. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/10172a6e-4c36-457b-b4f2-7cac59652c50/20240221_Relat%C3%B3rio+-+Emiss%C3%B5es+Evitadas_Site.pdf?MOD=AJPERES&CVID=oTnycB4. Acesso em: 12 jan. 2024.

Tabela 1 - Caracterização da frota veicular do DF

Classe veicular	Quantidade	Percentual
Automóvel	1.357.827	67,88%
Motocicleta	257.657	12,88%
Caminhonete	141.156	7,06%
Camioneta	113.171	5,66%
Utilitário	43.958	2,20%
Caminhão	27.095	1,35%
Ônibus (fora do STC)	10.511	0,53%
Ônibus do STC	2.977	0,15%
Outros	45.974	2,30%
Total	2.000.326	100%

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

O DETRAN também informou o combustível utilizado pelos veículos que compõem a frota. As tabelas de 2 a 6 apresentam os quantitativos dos combustíveis consumidos pelas principais classes veiculares. Para caminhões e ônibus, os percentuais que utilizam diesel são, respectivamente, 99,65% e 99,92%.

Tabela 2 - Caracterização da frota de automóveis do DF

Automóvel	Quantidade	Percentual
Álcool/Gasolina	911.727	67,15%
Gasolina	390.080	28,73%
Álcool	50.243	3,70%
Outros	5.771	0,43%

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

Tabela 3 - Caracterização da frota de motocicletas do DF

Motocicleta	Quantidade	Percentual
Gasolina	169.755	65,92%
Álcool/Gasolina	87.237	33,88%
Outros	509	0,20%

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

Tabela 4 - Caracterização da frota de caminhonetes do DF

Caminhonete	Quantidade	Percentual
Álcool/Gasolina	64.587	45,76%
Diesel	59.060	41,84%
Gasolina	16.563	11,73%
Outros	946	0,67%

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

Tabela 5 - Caracterização da frota de camionetas do DF

Camioneta	Quantidade	Percentual
Álcool/Gasolina	59703	52,75%
Gasolina	43216	38,19%
Diesel	6145	5,43%
Álcool	3042	2,69%
Outros	1.065	0,94%

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

Tabela 6 - Caracterização da frota de utilitários do DF

Utilitário	Quantidade	Percentual
Diesel	16.219	36,90%
Gasolina	14.188	32,28%
Álcool/Gasolina	9.289	21,13%
Outros	7.261	9,69%

Fonte: Dados do DETRAN/DF de 2023.

4.2. Composição da frota de automóveis e motocicletas do Distrito Federal segundo o combustível de propulsão

Para melhor sistematização, optou-se por agregar à classe de automóveis as classes de caminhonete, camioneta e utilitário. A principal razão dessa junção é facilitar as estimativas decorrentes desse trabalho, uma vez que as entrevistas da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) não questionam sobre essas classes e elas podem, no senso comum, serem entendidas como carros para fins

de entrevista. Por isso, na divisão percentual, há uma parcela de automóveis movidos a diesel.

Os dados fornecidos pelo DETRAN/DF revelam a distribuição percentual da frota de veículos com base no tipo de combustível consumido, indicando que 63,58% da frota de automóveis, utilitários, caminhonetes e camionetas são veículos do tipo flex, capazes de utilizar tanto gasolina quanto álcool. Além disso, 28,23% utilizam exclusivamente gasolina, 3,24% utilizam álcool e 4,95% fazem uso do diesel⁴.

Para uma estimativa mais precisa da distribuição de veículos do tipo flex entre os que utilizam gasolina e os que utilizam etanol, foi necessário realizar um segundo tratamento. Nessa análise, adotou-se a distribuição do consumo desses combustíveis no Distrito Federal em 2021, conforme dados fornecidos pela ANP. De acordo com esses dados, o etanol hidratado representou 10,50% do consumo total desses dois combustíveis, enquanto a gasolina comum respondeu por 89,50%.

Com base nessas informações, a distribuição da frota de automóveis do Distrito Federal para o ano de 2021 é apresentada no Quadro 1..

Quadro 1 - Composição da frota de automóveis do DF em 2021

Classe	Combustível	Distribuição
Carros	Flex/gasolina c	56,91%
	Flex/etanol	6,67%
	Etanol	3,24%
	Gasolina c	28,23%
	Diesel	4,95%

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Para motocicletas, realizou-se procedimento similar, considerando-se a razão entre a venda de etanol e gasolina para distinguir o combustível utilizado

⁴ No caso de uma eventual impossibilidade de atualização dessas informações junto ao DETRAN/DF, outra fonte confiável é o SENATRAN, que disponibiliza dados sobre as frotas veiculares do Brasil. Essas informações podem ser acessadas por meio do seguinte link: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>>

pela frota flex. O Quadro 2 indica a distribuição dessa classe veicular pelo combustível utilizado.

Quadro 2 - Composição da frota de motocicletas do DF em 2021

Classe	Combustível	Distribuição
Motos	Flex/gasolina c	30,32%
	Flex/etanol	3,56%
	Gasolina c	65,92%

Fonte: Elaboração Própria, 2024.

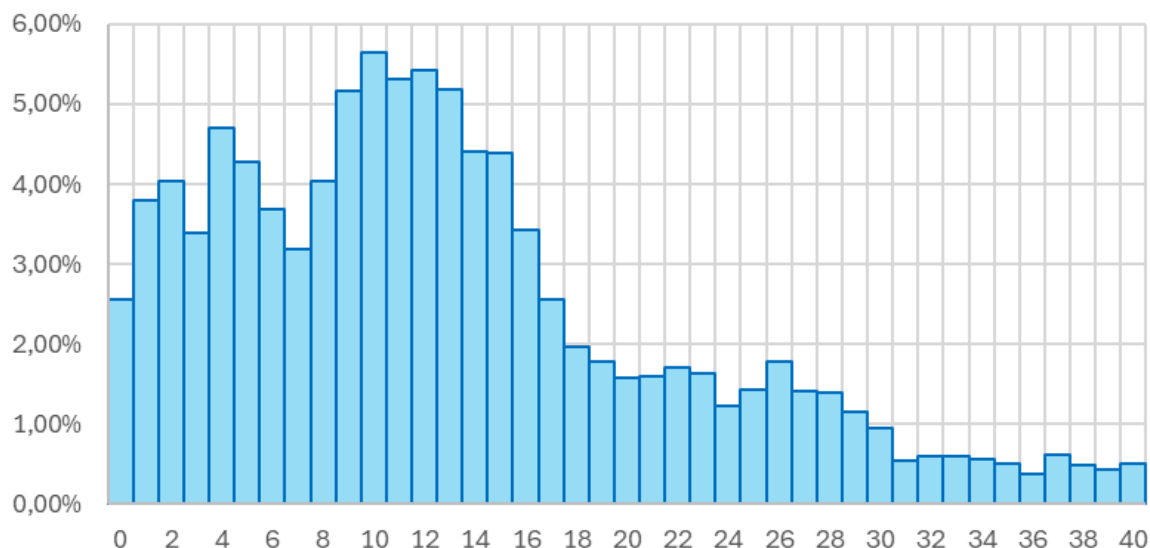
4.3. Rendimento médio de combustível

Para estimar o consumo médio dos automóveis e motocicletas, foram utilizados os valores recomendados pelo Programa Brasileiro GHG Protocol (FGVces, 2023), os quais apresentam consumos médios por ano de fabricação. Para realizar essa estimativa, foi necessário, em primeiro lugar, determinar o histograma de idades da frota do Distrito Federal.

A construção desse histograma baseou-se na análise dos dados de frota fornecidos pelo SENATRAN, que disponibiliza uma lista de veículos por unidade da federação e ano de fabricação. Nos casos em que os registros não continham informações sobre o ano de fabricação, optou-se por utilizar o ano de modelo como referência, descartando-se os veículos que também não apresentavam essa informação. Adicionalmente, foram excluídos os veículos com idade superior a 40 anos.

Após essa análise, obteve-se a distribuição percentual de idades da frota no Distrito Federal, conforme apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição percentual da frota de veículos do DF por idade



Fonte: Elaboração Própria, 2024

Com base na distribuição percentual de idades da frota do Distrito Federal, procedeu-se à ponderação desses dados com os consumos médios característicos de cada faixa etária presentes na planilha do Programa Brasileiro GHG Protocol. O objetivo foi obter um consumo médio representativo para os tipos de automóveis e motocicletas previamente descritos: flex movido a gasolina, flex movido a etanol, movido apenas a gasolina, automóvel movido apenas a etanol e automóvel movido a diesel.

Ao concluir essa etapa, que envolveu o cálculo do consumo médio para cada categoria de veículo comum na frota, procedeu-se à ponderação desses resultados com a frequência de ocorrência de cada tipo de veículo. Isso permitiu obter um consumo médio geral para os automóveis e para as motocicletas do Distrito Federal. Os resultados desse tratamento estão apresentados nos Quadros 3 e 4:

Quadro 3 - Rendimento da frota de automóveis do DF

Classe	Combustível	Distribuição	km/L
Carros	Flex/gasolina c	57,82%	12,59
	Flex/etanol	5,76%	8,70
	Etanol	3,24%	7,06
	Gasolina c	28,23%	11,31

	Diesel	4,95%	10,26
		Média	11,71

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Quadro 4 - Rendimento da frota de motocicletas do DF

Classe	Combustível	Distribuição	km/L
Motocicleta	Flex/gasolina c	30,32%	43,11
	Flex/etanol	3,56%	28,97
	Gasolina c	65,92%	37,18
		Média	38,61

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Isso significa que, ao retirar aleatoriamente um carro da frota de automóveis do DF, sem conhecer seu ano de fabricação, tipo de combustível ou característica de propulsão, podemos assumir que o rendimento médio desse veículo é de 11,7 km/L. Portanto, este será o valor de consumo adotado para análises futuras, simplificando o processo ao considerar apenas informações sobre a quantidade de automóveis e a distância percorrida.

4.4. Consumo médio de Diesel no DF em 2021 por ônibus e utilitários

Como informado no Tópico 4.1, 99,65% dos caminhões e 99,92% dos ônibus do DF são movidos pela queima de diesel. Para os utilitários, por outro lado, apenas 27,30% consomem diesel. Ressalta-se que, neste tópico, considera-se como utilitário os veículos das classes utilitário, caminhonete e camioneta, por serem estes os veículos passíveis de serem movidos a diesel.

Para os ônibus do Sistema de Transporte Coletivo (STC), realizou-se a estimativa de consumo de diesel em 2021 a partir do procedimento descrito no Item 4.1. da NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões de ônibus), obtendo que 35% do diesel consumido naquele ano, ou seja, 117.058.280,48 litros, foram utilizado por esses veículos.

Dessa forma, para estimar o quanto cada uma das demais classes (caminhão, ônibus fora do STC e utilitário) consumiu no ano de 2021, realizou-se uma divisão do combustível consumido restante (222.463.261,05 litros) de forma proporcional ao rendimento médio de cada classe veicular, como descrito na Tabela 7.

O rendimento médio de caminhões foi considerado como sendo a média entre os valores de rendimento dos caminhões não refrigerados apresentados pelo GHG Protocol Brasil. Já para o rendimento dos ônibus fora do STC adota-se o mesmo fator médio dos demais ônibus urbanos. Por fim, para o rendimento dos utilitários, realizou-se procedimento similar ao descrito no Item 4.4. para automóveis e motocicletas.

Tabela 7 - Consumo de diesel no DF em 2021

(continua)

Classe	Quantidade de veículos	Rendimento médio (km/L)	Equivalência veicular	Quantidade de veículos equivalentes	Diesel consumido (L)
Ônibus do STC	-	-	-	-	117.058.280,48
Caminhão	27.000	3,33	3,1	82.580	82.708.594,55

Tabela 7 - Consumo de diesel no DF em 2021

(conclusão)

Classe	Quantidade de veículos	Rendimento médio (km/L)	Equivalência veicular	Quantidade de veículos equivalentes	Diesel consumido (L)
Ônibus (fora do STC)	10.500	2,10	4,8	50.903	50.981.723,34
Utilitário (Utilitário, Caminhonete e Camioneta)	81.424	10,18	1,0	81.424	81.550.699,63
Total	118.924	-	-	214.907	332.229.298,00

Fonte: Elaboração Própria, 2024

4.5.Emissão média de CO₂e

Para concluir esta análise, é necessário determinar um Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) que seja característico da frota do Distrito Federal. Para alcançar esse objetivo, utilizou-se os fatores de emissão da gasolina, do etanol e do diesel conforme adotados pelo Programa Brasileiro GHG Protocol em sua Ferramenta de Cálculo (FGVces, 2023)⁵. Para combustíveis renováveis, como biodiesel e etanol, somente a emissão de CH₄ e N₂O é considerada⁶. Além disso, considera-se que a gasolina comum contém 27,5% de etanol e que o diesel comercial contém 12% de biodiesel.

⁵ Para acessar a ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro GHG Protocol, é necessário realizar o download no site da FGV <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol> a opção: Ferramenta de cálculo de emissões de GEE, Aba "Fatores de Emissão" -> Item "Seção 3 - Fatores de emissão para transporte / 3.1 Fatores para combustão móve

⁶ O estudo seguiu a estratégia de cálculo de emissões adotado pelo BNDES na Ferramenta de Cálculo v. 4.0: "Para combustíveis renováveis, como biodiesel e etanol, somente a emissão de CH₄ e N₂O é considerada no cálculo das emissões evitadas. O CO₂ emitido é chamado de biogênico e considera-se que o carbono emitido em formato de CO₂ é retirado da atmosfera durante o ciclo de vida da biomassa que origina o biocombustível (...)"(BNDES, WayCarbon 2024, p. 16)

Quadro 5 - Fator de Emissão da frota de automóveis do DF em 2021

Classe	Combustível	Distribuição	km/L	gCO ₂ e/L	gCO ₂ e/km
Carros	Flex/gasolina c	56,91%	12,41	1672,5	134,7
	Flex/etanol	6,67%	8,57	14,1	1,7
	Etanol	3,24%	7,05	14,1	2,0
	Gasolina c	28,23%	11,26	1672,5	148,5
	Diesel	4,95%	10,18	2328,1	228,7
		Média	11,55	1540,5	133,4
Motocicleta	Flex/gasolina c	30,32%	43,11	1672,5	38,8
	Flex/etanol	3,56%	28,97	14,1	0,5
	Gasolina c	65,92%	37,18	1672,5	45,0
		Média	38,61	1610,2	41,7

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Essa abordagem visa criar um Fator de Emissão representativo da composição da frota do DF, levando em consideração a prevalência de veículos movidos a gasolina e etanol. Com base nessa análise ponderada, o Fator de Emissão (FE) de um carro no DF pode ser considerado como sendo de 1.540,5 gramas de CO₂ e por litro de combustível consumido. Este resultado será fundamental para cálculos precisos das emissões de GEE associadas à frota de automóveis no Distrito Federal.

Por fim, combinando os dados obtidos, tem-se que um automóvel tipo no DF emite 133,4 gramas de CO₂e para cada quilômetro percorrido, enquanto que a motocicleta tipo emite 41,7 gramas de CO₂e para cada quilômetro.

5. LIMITAÇÕES DA NOTA

Não foi obtido o ano de fabricação para cada classe de veículos, mas, sim, para toda a frota sem segregação de classe veicular. Trabalhar com um dado geral da frota não é ideal, uma vez que as diversas classes possuem idades médias diferentes; por exemplo, sabe-se que, no geral, a frota de caminhões possui uma idade média superior à de automóveis. Entretanto, devido à magnitude da

quantidade de automóveis na frota (82,79%)⁷, acredita-se que este erro seja minorado.

Além disso, considera-se que a própria escolha metodológica em se trabalhar com a ideia de um "fator de emissão médio", agregando-se todos os automóveis, caminhonetes, camionetas e utilitários em um único automóvel tipo não representa as variações existentes. Porém, tal adoção se justifica pela necessidade de simplificação da ferramenta a fim de torná-la de fácil manipulação e atualização, não se almejando, portanto, o desenvolvimento de um inventário de emissões.

6. REFERÊNCIAS

BNDES. **RELATÓRIO METODOLÓGICO RELATÓRIO EMISSÕES EVITADAS.** Versão 2.0. Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/10172a6e-4c36-457b-b4f2-7cac59652c50/Metodologias+de+C%C3%A1culo+Emiss%C3%B5es+Evitadas+e+Removidas+-+nov23++%281%29.pdf?MOD=AJPERES&CVID=oMxPQmn> Acesso em: 12 jan. 2024.

BNDES, Way Carbon. **Relatório Metodológico- Emissões evitadas e Removidas.** v. 4.0, janeiro 2024. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/10172a6e-4c36-457b-b4f2-7cac59652c50/20240221_Relat%C3%B3rio+-+Emiss%C3%B5es+Evitadas_Site.pdf?MOD=AJPERES&CVID=oTnycB4. Acesso em: 12 jan. 2024.

FGVces. **Programa Brasileiro GHG Protocol.** Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol> Acesso em: 12 jan. 2024.

⁷ Total de automóveis, caminhonetes, camionetas e utilitários na frota.

**APÊNDICE III: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR
DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de
emissões de ônibus)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Equipe Técnica do IPEDF Codeplan

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael Salles Pereira – Bolsista

SUMÁRIO

APÊNDICE III: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Estimativa de emissões de ônibus)	39
EQUIPE RESPONSÁVEL	40
SUMÁRIO	41
1. INTRODUÇÃO	42
2. OBJETIVO	42
3. BASES DE DADOS UTILIZADAS	42
4. PREMISSAS DE CÁLCULO	44
4.1. Cálculo de quilometragem anual percorrida pelos veículos do Sistema de Transporte Coletivo do DF	44
4.2 Otimização de velocidades operacionais na operação em trânsito comum, em faixas exclusivas e em BRT	46
4.3 Fatores de emissão médio	50
6. DADOS DO PROJETO DO BRT NORTE	50
5. LIMITAÇÕES DA NOTA	52
8. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

Este documento descreve o procedimento metodológico adotado para a obtenção dos Fatores de Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos ônibus que circulam no Sistema de Transporte Coletivo do Distrito Federal (DF). As categorias abordadas neste trabalho são ônibus básicos/padron e articulados, movidos a diesel e biodiesel. Esses Fatores de Emissão serão utilizados na ferramenta de cálculo de emissões em desenvolvimento, cujo propósito é facilitar a tomada de decisões relacionadas a projetos de melhoria do transporte coletivo, tais como indicação de faixas exclusivas e sistemas de BRT (Bus Rapid Transit). Esta Nota Metodológica também apresenta a simulação dos principais parâmetros adotados no Projeto do BRT Norte que serviram para orientar os dados de entrada disponíveis em projetos dessa natureza, passíveis de orientar as estimativas de emissões evitadas.

2. OBJETIVO

O objetivo primordial do desenvolvimento deste procedimento metodológico é compor fatores de emissão médios para os ônibus usados no Sistema de Transporte Coletivo do Distrito Federal. Isso visa evitar uma complexidade excessiva na estimativa de emissões por parte da ferramenta de cálculo.

3. BASES DE DADOS UTILIZADAS

- Consumo de combustíveis no DF - Por meio de solicitação à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), via Lei de Acesso à Informação (LAI);
- Consumo médio dos veículos e Fatores de Emissão dos combustíveis – Dados compilados e utilizados na Ferramenta de Cálculo de Emissões de GEE do GHG Protocol Brasil <<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>>⁸;

⁸ Para acessar a versão 2023.0.3 da Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2023, foi preciso responder o seguinte formulário: <<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform>>

- Dados da frota de ônibus da SEMOB (Processo SEI 04031-00001457/2023-84);
- Arquivos GIS das rotas de ônibus obtidos da Secretaria de Mobilidade através da Lei de Acesso à Informação (LAI);
- Consumo médio dos veículos e Fatores de Emissão dos combustíveis – Dados compilados e utilizados na Ferramenta de Cálculo de Emissões de GEE do GHG Protocol Brasil <<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>>⁹;
- Consumo de ônibus obtidos na publicação “Custo dos Serviços de Transporte Público por Ônibus” da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) de agosto de 2017 <<https://files.antp.org.br/2017/8/21/1.-metodo-de-calculo--final-impresso.pdf>>;
- Dados de velocidade média de ônibus retirados do “Guia TPC” do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) de 2018 <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14921>>;
- Relação entre consumo de combustível e velocidade de ônibus informada no artigo intitulado “Avaliação do Potencial de Economia de Energia e Redução de Emissões de CO₂ em um Sistema de Transporte Público” de 2020 e autoria dos pesquisadores Camila Padovan da Silva e Augusto César de Mendonça Brasil <10.30781/repad.v4i1.9542>;
- Velocidade média do BRT de Brasília informada na dissertação intitulada “Avaliação do impacto da propulsão elétrica e sistema BRT no consumo energético e emissões de CO₂ no transporte público no Distrito Federal” de 2020 e autoria de Camila Padovan da Silva;
- Consumo relativo de combustível de veículos movidos a biodiesel B100 indicado na publicação “Usos de biodiesel no Brasil e no Mundo” do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de

⁹ Para acessar a versão 2023.0.3 da Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2023, foi preciso responder o seguinte formulário:
<<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform>>

2015 <Repositório Institucional do MAPA: Usos de biodiesel no Brasil e no Mundo (agricultura.gov.br)>.

4. PREMISSAS DE CÁLCULO

As premissas a serem desenvolvidas são, via de regra, iguais para todos os casos de aplicação de BRT ou Faixa Exclusiva de Ônibus no Distrito Federal.

4.1. Cálculo de quilometragem anual percorrida pelos veículos do Sistema de Transporte Coletivo do DF

Para estimar a quilometragem anual percorrida pelos veículos do Sistema de Transporte Coletivo do Distrito Federal, fez-se uso dos dados fornecidos pela Secretaria de Transporte e Mobilidade do DF (SEMOB) que disponibilizou os dados de extensão e de quantidade de viagens por dia da semana, de todas as linhas do Sistema de Transporte Coletivo do DF.

Ressalta-se que no material disponível não foram apresentadas a distância de percurso de algumas linhas de ônibus e por isso, adotou-se para estas linhas a distância média das demais.

De posse destes dados, foi possível estimar quantos quilômetros são percorridos por ano pelos ônibus do Sistema quando em operação. Por sua vez, a partir desta distância total, estimou-se a quantidade anual de diesel consumida pelo Sistema a partir do rendimento médio de ônibus urbanos fornecido pelo GHG Protocol Brasileiro. Os resultados dessas estimativas encontram-se na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Dados do Sistema de Transporte Coletivo do DF

Quantidade total de viagens por ano	Distância total percorrida por ano (km/ano)	Rendimento médio de ônibus urbano (km/L)	Consumo de diesel por ano (L/ano)
6.772.158	245.822.389	2,1	117.058.280,48

Fonte: Elaboração própria adaptado dos dados fornecidos pela SEMOB

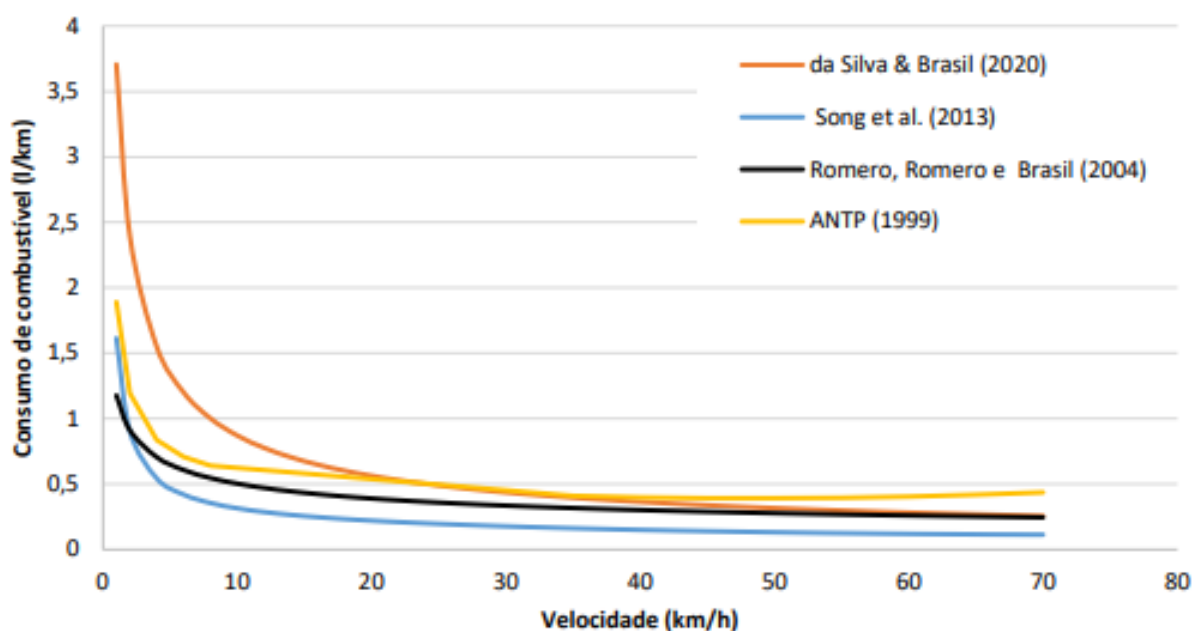
Sendo o consumo total de diesel informado pela ANP no ano de 2021 equivalente a 332.299.298l, encontra-se que o Serviço de Transporte Coletivo do DF foi responsável por 35% do total de diesel consumido no DF naquele ano. A

partir desse consumo, estima-se que o Sistema emite anualmente cerca de 272.524,05 toneladas de CO₂e.

Esses valores de consumo e de emissão são consideravelmente altos, mesmo para um grande sistema de transporte público como o do DF, por isso, medidas que objetivem diminuir tais emissões precisam ser analisadas e implementadas.

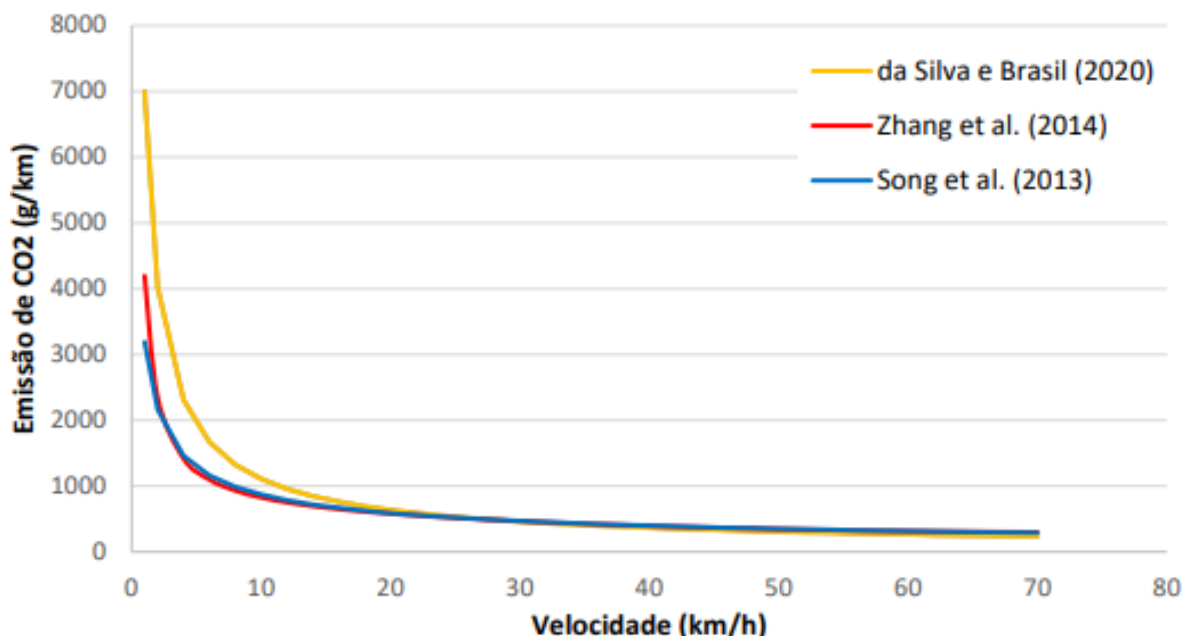
Alguns exemplos são a adoção de faixas exclusivas e a implantação de BRTs que aumentam a velocidade de operação do sistema e consequentemente reduzem o consumo de combustível e as emissões de GEE. Os gráficos presentes nas Figuras 1 e 2, a seguir, demonstram a relação entre a velocidade dos ônibus e o seu consumo de combustível e suas emissões de CO₂.

Figura 1 - Relação entre o consumo de combustível e a velocidade de operação dos ônibus



Fonte: SILVA (2020)

Figura 2 - Relação entre a emissão de CO₂ e a velocidade de operação dos ônibus



Fonte: SILVA (2020)

As figuras apontam que as faixas de operação entre 0 e 20 km/h são os mais críticos e é justamente nessa faixa de velocidade que os ônibus operam quando estão inseridos no trânsito comum de veículos, em especial nos horários de pico. No tópico seguinte, desenvolve-se uma análise para determinar fatores de rendimento e emissão para ônibus básico/padron e articulado nas situações de operação de trânsito comum, faixa exclusiva e BRT.

4.2 Otimização de velocidades operacionais na operação em trânsito comum, em faixas exclusivas e em BRT

Com a implantação de uma Faixa Exclusiva ou de um BRT, há um considerável aumento na velocidade de operação do sistema em relação ao deslocamento em trânsito comum, sendo este aumento maior para sistemas de BRT. Este incremento de velocidade reduz o consumo de combustível e por consequência diminui as emissões de GEE.

Para esse trabalho de estimativa de diferença de consumo entre os diversos modos de operação, não é possível adotar o rendimento utilizado no Item 4.1, uma vez que se trata de um rendimento geral. Aqui, tem-se por objetivo encontrar rendimentos médios para cada um dos três modos de operação e para os dois

tipos de ônibus mais comuns em operação em meios urbanos, o do tipo básico, também denominado padron, e o do tipo articulado. Por isso, foi necessário consultar outras fontes de dados que demonstrassem essas diferenças.

A determinação do rendimento dos veículos do tipo ônibus básico/padron e ônibus articulado se deu a partir da média entre os coeficientes de consumo mínimo e máximo apresentados pela ANTP em sua publicação intitulada Custo dos Serviços de Transporte Público por Ônibus, como reproduzido na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de ônibus em operação em trânsito comum

Veículo	Consumo mínimo (L/km)	Consumo máximo (L/km)	Rendimento médio (km/L)
Ônibus básico/padron	0,45	0,65	1,82
Ônibus articulado	0,65	0,85	1,33

Fonte: Adaptado de ANTP (2017)

Já para determinar o rendimento desses veículos no sistema BRT, utilizou-se o dado de consumo de ônibus no BRT de Brasília obtido por Silva e Brasil (2020). A partir dessa informação e da relação de rendimento entre os ônibus do tipo básico e articulado presente na Tabela 2, obteve-se também o rendimento do ônibus articulado no BRT, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de ônibus em operação no sistema BRT

Veículo	Consumo (L/km)	Rendimento (L/km)
Ônibus básico/padron	0,29	3,45
Ônibus Articulado	-	2,53

Fonte: Adaptado de SILVA e BRASIL (2020)

Para encontrar o rendimento dos ônibus em faixas exclusivas, fez-se uso dos dados de velocidade comercial de sistemas baseados em ônibus presentes no Guia TPC do BNDES (2018). Entretanto, Silva (2020) encontrou uma velocidade operacional do sistema de BRT do DF (51,6 km/h) consideravelmente superior ao demonstrado pelo BNDES (2018) para sistemas de BRT em geral (22 e 30 km/h).

Por isso, foi necessário corrigir a velocidade indicada pelo BNDES para faixa exclusiva com base nessa diferença encontrada para o BRT. Essa velocidade operacional consideravelmente superior pode se dar em razão das características particulares de Brasília, por ser uma cidade com velocidades médias de tráfego

superiores em decorrência da sua disposição espacial e grande presença de vias de trânsito rápido.

Com os dados de velocidade ajustados, determinou-se o consumo de ônibus operando em faixa exclusiva através da Equação 1 de consumo desenvolvida por Silva e Brasil (2020).

$$C = 3,7072 \cdot V^{(-0,629)} \quad (1)$$

em que,

C = consumo de combustível para ônibus convencionais em l/km

V = velocidade do veículo em km/h

Dessa forma, considerando a média dos valores de velocidades presente para ônibus em sistema de faixa exclusiva apresentado no Guia TPC e a correção baseada na velocidade indicada por Silva (2020), obteve-se os valores de rendimento presentes no Quadro 4.

Novamente, adotou-se a proporção entre os rendimentos dos ônibus básico/padron e articulado em trânsito comum presente no Quadro 2 para determinar o rendimento do ônibus articulado em faixa exclusiva como mostrado no Quadro 4.

Tabela 4 - Dados de ônibus em operação em faixa exclusiva

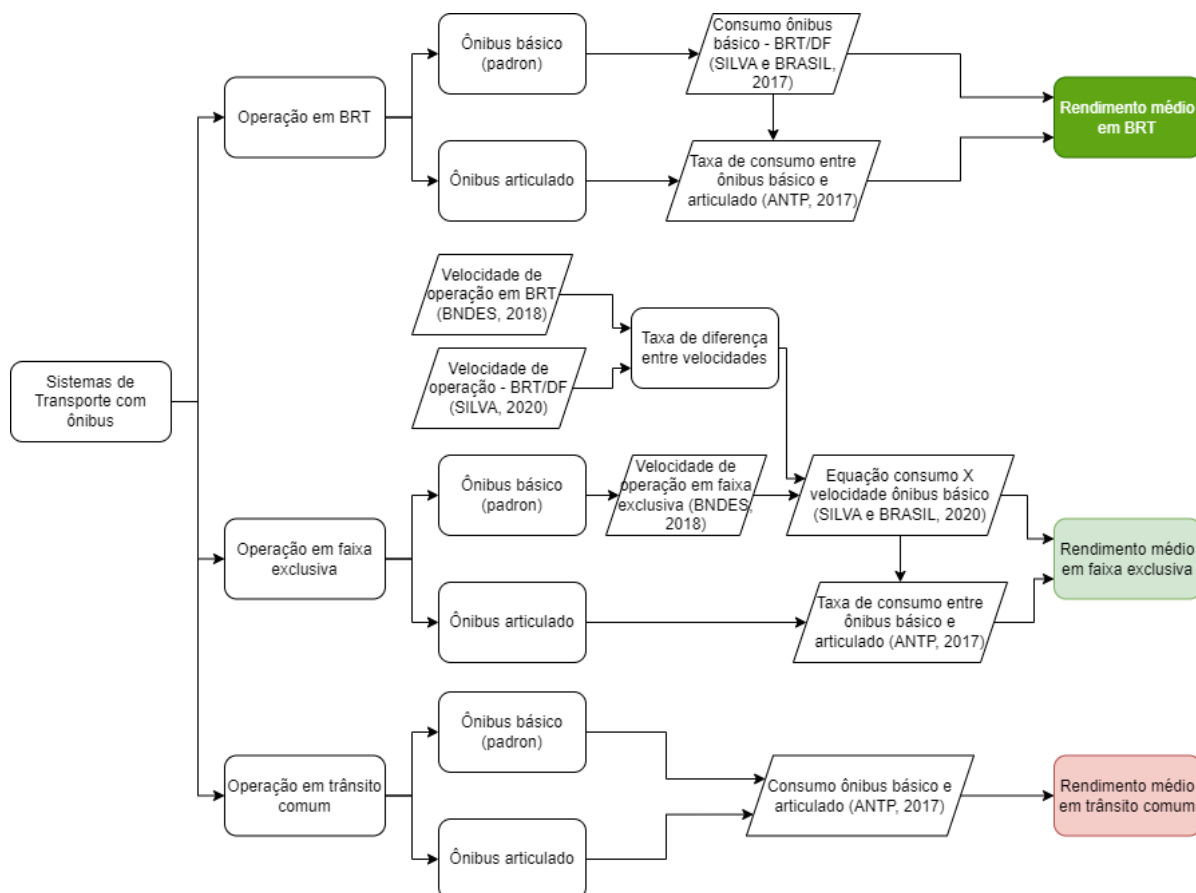
Veículo	Velocidade corrigida (km/h)	Consumo (L/km)	Rendimento (L/km)
Ônibus básico/padron	39,69	51,6	2,73
Ônibus articulado	39,69	-	2,00

Nota: Velocidade corrigida = $((18+22)/2) \cdot 51,6 / ((22+30)/2)$

Por fim, para determinar o rendimento destes ônibus em cada tipo de operação consumindo biodiesel B100, considerou-se um consumo 13% maior para veículos movidos a este tipo de combustível. Essa porcentagem está de acordo com valores apresentados na publicação Usos de biodiesel no Brasil e no Mundo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2015).

O Fluxograma a seguir resume os passos tomados para determinar os valores de rendimento de cada tipo de ônibus em cada condição de operação.

Figura 3 - Diagrama do processo de cálculo dos rendimentos médios dos ônibus em trânsito comum, em faixa exclusiva e em BRT



Fonte: Elaboração Própria, 2024

4.3 Fatores de emissão médio

A partir dos valores de rendimento dos veículos em cada situação indicados no Item 4.2 e dos Fatores de Emissão do diesel B12 e do biodiesel B100, obteve-se os valores de Fatores de Emissão médios dispostos no Quadro 5.

Quadro 1 - Valores de rendimento e de Fator de Emissão para os diversos tipos de ônibus nas diversas condições de operação.

(continua)

Veículo	Combustível	Rendimento (km/L)	FE do combustível (gCO ₂ e/L)	FE médio do veículo (gCO ₂ e/km)
Ônibus básico/padron em trânsito comum	Diesel B12	1,82	2328,1	1280,5
	Biodiesel B100	1,61	14,6	9,10
Ônibus articulado em trânsito comum	Diesel B12	1,33	2328,1	1746,1
	Biodiesel B100	1,18	14,6	12,43
Ônibus básico/padron em faixa exclusiva	Diesel B12	2,73	2328,1	852,0
	Biodiesel B100	2,42	14,6	6,0
Ônibus articulado em faixa exclusiva	Diesel B12	2,00	2328,1	1161,9
	Biodiesel B100	1,77	14,6	8,2
Ônibus básico/padron em BRT	Diesel B12	3,45	2328,1	675,2
	Biodiesel B100	3,05	14,6	4,8
Ônibus articulado em BRT	Diesel B12	2,53	2328,1	920,7
	Biodiesel B100	2,24	14,6	6,5

Fonte: Elaboração própria, 2024

6. DADOS DO PROJETO DO BRT NORTE

Foram adotados os dados constantes do Estudo Técnico De Tráfego para a “IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO DE PASSAGEIROS ENTRE AS CIDADES DE PLANALTINA, SOBRADINHO E O PLANO PILOTO - CORREDOR EIXO NORTE - BRASÍLIA/DF”- Processo nº 113.009.340/2011 (Doc SEI 48337981), de dezembro de 2013, para avaliar o potencial impacto na redução de emissões de GEE da implantação de um projeto de BRT. Nesse sentido,

buscou-se estimar ao longo de um ano as emissões evitadas de um cenário referencial de projeto, comparando-se ao cenário base (sem projeto).

Foram simulados os resultados apresentados no Cenário de projeto (Cenário 5), e os potenciais ganhos em quilometragem, tipo de veículos decorrentes de sua implementação para o DF.

Premissas e dados do estudo do BRT Norte:

- O desenho para o subsistema do BRT Eixo Norte é constituído por corredores troncais e linhas alimentadoras, conectados por estações de transbordo. O traçado das linhas foi definido com base em pesquisas de campo que objetivou identificar espacialmente os locais onde os passageiros sobem e descem dos ônibus, quantificando esses movimentos (página 18). A análise da demanda foi realizada com base nos resultados da pesquisa de ocupação e, a partir do cruzamento com o cadastro de linhas.
- O modelo de simulação foi desenvolvido com base no processamento das pesquisas de ocupação visual, de “sobe e desce”, de velocidade média, no cadastro de linhas fornecido, à época, pelo órgão gestor do Sistema, além de análise da densidade urbana das zonas. Essas informações permitiram estimar a matriz de fluxos atuais segundo estações/pontos de ônibus, que foi confrontada com a oferta em cada um dos cenários de simulação, verificando os fluxos que potencialmente deveriam utilizar o BRT e possibilitando o dimensionamento do novo sistema.
- As pesquisas indicaram uma movimentação diária de 74 mil passageiros no sentido centro (Plano Piloto), em torno 6,5 vezes o movimento da hora pico (páginas 71 e 72). Com a hipótese de que o total de viagens por dia no sentido centro e sentido bairro são iguais, é possível estimar que por dia são realizadas 148 mil viagens no corredor. Na mesma pesquisa, foi estimado que aos sábados e domingos o número de viagens equivale a 60% e 50% de um dia útil respectivamente. Desta forma, considerando 248 dias úteis no ano, 52 sábados e domingos e 13 feriados, estimou-se um ano equivalente de 312 dias úteis, o que representa 46,1 milhões de viagens por ano no corredor (página 72).

A estimativa de redução na quantidade de gases do efeito estufa esperada com a implantação desse projeto foi calculada com base na redução da quilometragem observada entre a situação base (sem projeto), e aquela encontrada no Cenário 5 de projeto (página 101), escolhido por representar uma situação operacionalmente mais abrangente dos serviços de ligação, que conectam diretamente os terminais das RAs com distribuição direta no Plano Piloto.

O Cenário 5 de operação apresenta a maior quantidade de linhas com características de serviço de ligação, que deriva da união entre uma linha alimentadora e uma troncal, podendo ser considerada tanto como uma linha alimentadora com demanda suficiente para seguir expressa pelo eixo troncal até o terminal de destino, quanto uma linha troncal – com início em um terminal – que tenha demanda suficiente para adentrar o tráfego misto no local e destino e realizar a distribuição de passageiros (páginas, 77 e 78).

Esse serviço operaria com veículos tipo padron (não articulados) apenas nos horários de pico, permitindo que usuários de localidades mais afastadas do corredor possam embarcar em direção ao Plano Piloto sem necessidade de transbordo e sem que isso gere um custo adicional para o sistema. Por operarem em tráfego misto, esses veículos devem possuir portas dos dois lados.

Na concepção do Cenário 5, o dimensionamento dos serviços já previu linhas de ligação onde cabível, de modo que a criação de novas linhas só será possível após um incremento significativo de demanda. A criação de demasiadas linhas de ligação poderá ser prejudicial para o sistema, pois isso poderia afetar o equilíbrio entre frequência e diversidade de serviços, aumentando tempos de espera e ocupação nas estações (página 113).

Como resultado da implementação do Cenário 5, foram estimados redução do tempo de viagem da ordem de 20,7% (página 84), e uma redução de quilometragem da ordem de 15% (páginas 106 e 107).

Como referência de consumo de combustível adotaram-se dados apontados no Método de Cálculo dos Custos dos Serviços de Transporte Público por Ônibus – ANTP/agosto, 2017, conforme tabela apresentada na página 89 do citado estudo.

5. LIMITAÇÕES DA NOTA

A nota apresentou como limitação a ausência de dados de consumo dos ônibus no Distrito Federal, o que obrigou a adoção de diversas considerações para

encontrar tais valores. O ideal seria a realização de estudos como os de Silva (2020) e Silva e Brasil (2020) que coletaram dados reais em campo de ônibus em operação para que os resultados possam ser o mais fiéis possíveis à realidade de Brasília.

Outra limitação identificada foi o não emprego de dados de consumo dos veículos por idade, pois sabe-se que veículos mais novos apresentam um consumo menor que os veículos mais antigos. Tal consumo pode variar em até 4%, indo de rendimento médio de 2,3 km/L presente no Inventário de 2012 do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (MMA, 2014) até 2,1 km/L adotado pela CETESB em 2022 (CESTEB, 2022). Além disso, o Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS) apresenta valores médios para os anos de 2013 a 2018 que ressaltam a variabilidade dessa taxa, conforme explicitado no Quadro 6.

Tabela 5 - Rendimento de ônibus urbanos

Ano	Rendimento (km/L)
Até 2012	2,30*
2013	2,23**
2014	2,21**
2015	2,24**
2016	2,23**
2017	2,20**
2018	2,20**
2019	2,10***
2020	2,10***
2021	2,10***
2022	2,10***

Fonte: MMA, 2014; IBTS, 2019; CETESB, 2022.

*(MMA, 2014)

** (IBTS, 2019)

*** (CETESB, 2022)

8. REFERÊNCIAS

ANTP. **Custos dos serviços de transporte público por ônibus método de cálculo - Associação Nacional dos Transportes Públicos**. São Paulo: Antp, 2017. Disponível em: <https://files.antp.org.br/2017/8/21/1.-metodo-de-calculo--final-impresso.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BNDES. Guia TPC: orientações para seleção de tecnologias e implementação de projetos de transporte público coletivo - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Rio de Janeiro: Bndes, 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14921>. Acesso em: 26 abr. 2024.

CETESB. Fator de Emissão 2022. Disponível em: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fcetesb.sp.gov.br%2Fveicular%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F6%2F2023%2F09%2FFator-de-emissao-2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>. Acesso em: 30 abr. 2024.

IBTS. Transportes no Brasil: panorama e cenários prospectivos para atendimento da contribuição nacionalmente determinada. Rio de Janeiro: Ibts, 2019. 56 p. Disponível em: https://ibts.eco.br/src/uploads/2019/12/transportes-no-brasil_relatorio-de-referencia.pdf. Acesso em: 30 abr. 2024.

MAPA. Usos de biodiesel no Brasil e no Mundo - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa, 2015. Disponível em: <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/268#:~:text=2015%20Resumo%3A%20O%20biodiesel%20no%20Brasil%20%C3%A9%20amplamente,e%20industrial%2C%20e%20como%20mat%C3%A9ria-prima%20na%20ind%C3%BAstria%20qu%C3%ADmica..> Acesso em: 26 abr. 2024.

MMA. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: relatório final. Brasília: Mma, 2014. 114 p. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-por-veiculos-automotores-rodoviarios-2013-ano-base-2012>. Acesso em: 30 abr. 2024.

SILVA, Camila Padovan. Avaliação do impacto da propulsão elétrica e sistema BRT no consumo energético e emissões de CO2 no transporte público no Distrito Federal. 2020. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SILVA, Camila Padovan; BRASIL, Augusto César de Mendonça. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO2 EM UM SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO. Revista Estudos e Pesquisas em Administração, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 124, 31 jan. 2020b. Revista Estudos e Pesquisas em Administração (Repad). <http://dx.doi.org/10.30781/repad.v4i1.9542>.

Consórcio DF Interligado. Logit Engenharia Consultiva Ltda. 2016. Relatório de Estudo de tráfego Corredor Eixo Norte-DF-DER/DF. Processo N° 113009340/2011, doc. SEI 48337981

**APÊNDICE IV: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR
DE MOBILIDADE E TRANSPORTE
(Fundamentação teórica sobre a utilização do VKV
na avaliação das emissões de novas ampliações
viárias)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Equipe Técnica do IPEDF Codeplan

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael Salles Pereira – Bolsista

SUMÁRIO

APÊNDICE IV: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Fundamentação teórica sobre a utilização do VKV na avaliação das emissões de novas ampliações viárias)	58
EQUIPE RESPONSÁVEL	59
SUMÁRIO	60
1. INTRODUÇÃO	61
2. OBJETIVO	61
3. REFERÊNCIAS DE ESTUDOS SOBRE O TEMA	61
4. REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a fundamentação teórica sobre a utilização do VKV (Veículos por quilômetro viajado) na avaliação das emissões de novas ampliações viárias.

O VKV ou VMT (Vehicle Miles Traveled) ou VKT (Vehicle Kilometers Traveled) representa a quantidade total de quilômetros percorridos por todos os veículos em uma determinada área durante um período de tempo específico. A elasticidade do VKV apresenta as alterações anuais dos quilômetros-Veículo Percorridos e cuja alteração pode estar relacionada a diferentes fatores. É uma medida utilizada para avaliar o volume total de tráfego em uma região, sendo um indicador importante para entender a demanda e o uso das vias de transporte, assim como permite entender os padrões de deslocamento da população, avaliar o impacto das políticas de transporte e planejar intervenções que melhorem a mobilidade urbana e reduzam os impactos negativos do transporte, como a emissão de poluentes e o congestionamento.

2. OBJETIVO

O objetivo primordial do desenvolvimento deste procedimento metodológico é apresentar a fundamentação teórica que permite a utilização do VKV para simular o efeito das ampliações viárias na indução dos quilômetros percorridos, seguindo os estudos de Melo et al. (2012), Graham et al. (2014), Hsu e Zhang (2014), Hymel (2019), Chen (2020), detalhados na continuação.

3. REFERÊNCIAS DE ESTUDOS SOBRE O TEMA

O VKV, ou quilômetros viajados por veículo, é uma medida comumente utilizada em planejamento de transportes e mede a quantidade de quilômetros viajados pelos veículos de uma certa área por um tempo determinado (WILLIAMS, THOMAS A et al., 2016), normalmente em uma cidade pelo período de 1 ano. O VKV indica o total de quilômetros viajados em determinado lugar e suas mudanças com o tempo sendo um indicador dos hábitos em relação ao transporte e refletindo a relação entre uso do solo e transportes (ITE CANADA, 2012), com cidades com

ocupações mais densas apresentando VKVs mais baixos em relação à cidades com ocupações mais espalhadas pelo território que requerem viagens mais longas.

O VKV pode ser utilizado para informar decisões de alocação de investimentos em infraestrutura, avaliar as diferenças de demandas entre cidades e regiões com características similares, avaliar o impacto de mudanças populacionais no trânsito e estimar níveis de congestionamentos futuros (WILLIAMS, THOMAS A et al., 2016) e, pode ser estimado a partir de várias fontes de dados como pesquisas domiciliares, contadores de tráfego e vendas de combustíveis (ITE CANADA, 2012).

Pfleiderer e Dieterich (1995) analisam que a motivação da ampliação viária é a transferência do tráfego de vias arteriais, acelerando o trânsito no primeiro momento e levando à economia de tempo, que o autor pondera ser usado para acrescentar mais viagens, o que resulta em tráfego adicional. No caso alemão analisado, argumentam que a melhoria da infraestrutura rodoviária contribui significativamente para o aumento geral do tráfego, pois permite um deslocamento mais rápido, e conseqüentemente maior gasto de combustível que repercute em maiores emissões.

O Trabalho de Duranton e Turner (2013) sugere que a quantidade de quilômetros percorridos por veículos em uma cidade aumenta proporcionalmente à quantidade de rodovias na cidade e que denominam “A Lei Fundamental do Congestionamento das Rodovias”. Os autores identificam três fontes importantes para esse aumento nos quilômetros percorridos: um aumento na condução por residentes atuais, uma entrada de novos residentes e um aumento na atividade de produção intensiva em transporte. Além disso, eles concluem que a provisão de transporte público não tem impacto nos quilômetros percorridos por veículos porque, ao aumentar a oferta de transporte público, não há uma redução significativa na demanda por viagens de veículo particular. Isso sugere que as pessoas continuam a preferir usar seus próprios veículos, mesmo com a disponibilidade de transporte público adicional.

No Brasil, o método da venda de combustíveis foi utilizado por Leitão et al. (2014) na cidade de Vitória, Espírito Santo, estimando valores anuais para 2013 de 1.989.694.950 quilômetros viajados e, 5856 quilômetros veículos viajados por habitante. Segundo os autores, esse valor reflete uma dependência do transporte

individual motorizado e se aproxima dos valores obtidos em megacidades como Frankfurt e Montreal em 1991 (LEITÃO; SOUZA; COVRE, 2014).

Hymel (2019) trabalha com um modelo dinâmico com dados em painel que também sugere que expansões de capacidade em rodovias geram um aumento proporcional em viagens veiculares além do que, as velocidades supostamente ganhas no início da intervenção são perdidas em aproximadamente 5 anos por causa dessa indução de viagens. Algumas variáveis de controle utilizadas nesse modelo foram o grau de desemprego em nível estadual, renda per capita, e o preço dos combustíveis, ou seja, foram capturadas e controladas tendências macroeconômicas que teriam influência sobre a quantidade e a extensão das viagens realizadas.

Graham et al. (2014) também chegam à conclusão de que aumentos de capacidade viária, inclusive grandes intervenções, podem causar aumento no volume do tráfego, o que sugere que, como forma de reduzir congestionamentos, aumentos de capacidade viária (aumento no número de faixas, criação de novas vias, implementação de novas obras de arte), não são eficazes.

O trabalho de Chen (2020) analisa 103 cidades chinesas para estimar o efeito causal da expansão urbana de estradas nos Quilômetros-Veículo Percorridos (VKT - Vehicles Kilometres Traveled), a partir do uso de Variáveis Instrumentais e dados em painel. Como conclusões, o estudo apresenta que a elasticidade estimada do VKT em relação ao comprimento da estrada nas cidades chinesas é aproximadamente 1. Isso indica que as novas estradas urbanas levam a um aumento proporcional no tráfego total. Especificamente, fornecer 1% a mais de estradas urbanas aumenta o VKT em 0,993%, sugerindo que a ampliação viária na China induz o tráfego de forma proporcional.

O Trabalho de Sousa e Portugal (2023), a partir de ampla revisão bibliográfica, identifica as principais metodologias existentes para a estimativa do VKV. Os autores destacam a escassez de publicações nacionais sobre o tema.

Diante das evidências da literatura internacional, adota-se o conceito do VKV e sua elasticidade anual para avaliar o aumento das viagens, e consequentemente, as emissões adicionais de gases de efeito estufa como resultado das ampliações viárias.

Os diferentes estudos mencionados estimaram que a elasticidade anual do VKT em relação à ampliação viária é aproximadamente 1, o que indica que as

novas estradas urbanas levam a um aumento proporcional no tráfego total. Frente à ausência de estudos específicos para o Distrito Federal, optou-se por adotar o VKV equivalente a 1 como parâmetro *default* na ferramenta de cálculo desenvolvida. Entretanto, não se trata de um campo fixo, o que permite a utilização de outros valores, caso existam estudos comprobatórios.

4. REFERÊNCIAS

CHEN, W. & Klaiber, H. 2020. Does road expansion induce traffic? An evaluation of VehicleKilometers Traveled in China. **Journal of Environmental Economics and Management** 104 (2020) 102387.

DURANTON, G & TURNER, M. 2011. The Fundamental Law of Highway Congestion: Evidence from the US. **American Economic Review**. Vol. 101, nº. 6, oct. 2011. pp. 2616-52.

GRAHAM, D. J.; MCCOY, E. J.; STEPHENS, D. A. Quantifying Causal Effects of Road Network Capacity Expansions on Traffic Volume and Density via a Mixed Model Propensity Score Estimator. **Journal of the American Statistical Association**, v. 109, n. 508, p. 1440–1449, 2 out. 2014.

HYMEL, K. If you build it, they will drive: Measuring induced demand for vehicle travel in urban areas. **Transport Policy**, v. 76, p. 57–66, 1 abr. 2019.

ITE CANADA. **Vehicle Kilometres Travelled (VKT)-Canadian Methodology Information Report**. [s.l.] Canadian Institute of Transportation Engineers Technical Liaison Committee, jan. 2012. Disponível em: <<https://www.itecanada.org/wpdm-package/vtk-report-final-2013/>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

LEITÃO, L. J. S.; SOUZA, D. V.; COVRE, N. S. UMA ESTIMATIVA PARA A INTENSIDADE DE USO DO TRANSPORTE MOTORIZADO INDIVIDUAL NA CIDADE VITÓRIA. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. MMXIV, n. 000061, 9 out. 2014

SOUZA, L. A. P. & PORTUGAL, L. S. Vehicle Kilometers Traveled (VKT): **Metodologia para o Cálculo e suas Aplicações nos Sistemas de Transporte**. Revista Foco, Curitiba (PR), v.16, n.3, p.01-31, 2023.

PFLEIDERER, R. e DIETERICH, M. 1995. New roads generate new traffic. **World Transport Policy and Practice** 1(1):29-31.

WILLIAMS, THOMAS A et al. **Methodologies Used to Estimate and Forecast Vehicle Miles Traveled (VMT)**. [s.l.] Texas A&M Transportation Institute, jul. 2016. Disponível em: <<https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/PRC-15-40-F.pdf>>.

**APÊNDICE V: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MUDANÇA DE
USO DO SOLO E URBANIZAÇÃO (Estoque de carbono da Cobertura
Vegetal e Fatores de emissão, remoção de CO₂e)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais (COET/DEPAT)

Equipe Técnica IPEDF

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira- Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica - Estoque de carbono da Cobertura Vegetal e Fatores de emissão, remoção de CO₂e

Leticia Gomes da Silva – Bolsista

Carlos Augusto Zangrando Toneli – Bolsista

Fabiana Oliveira Machado – Bolsista

SUMÁRIO

APÊNDICE V: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MUDANÇA DE USO DO SOLO E URBANIZAÇÃO (Estoque de carbono da Cobertura Vegetal e Fatores de emissão, remoção de CO₂e)	65
EQUIPE RESPONSÁVEL	66
SUMÁRIO	67
1. INTRODUÇÃO	68
2. OBJETIVO	68
3. METODOLOGIA	69
3.1. Descrição da área de estudo	69
3.2. Mapeamento da cobertura vegetal	69
3.3. Mapeamento da área queimada	72
3.5. Fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa contabilizados	74
3.6. Processos contabilizados nas remoções de CO ₂	74
4. ANÁLISE DO SETOR PARA O CÁLCULO DAS ESTIMATIVAS	74
4.1. Emissões de CO ₂	74
4.2. Remoções de CO ₂	77
5. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÃO ADMINISTRATIVA	81
6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	83
7. REFERÊNCIAS	83

1. INTRODUÇÃO

Neste documento serão apresentados os procedimentos metodológicos para calcular as estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Distrito Federal (DF) para o setor de Mudanças de Uso do Solo e Urbanização, para o ano base de 2021. Essas estimativas foram realizadas seguindo as propostas metodológica do (IPCC, 2003, 2006a), e com base nos fatores publicados no Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2020) e no SEEG - Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas (SEEG, 2023).

No contexto biofísico e social das áreas urbanas e periurbanas de uma cidade, as florestas urbanas vêm consolidando seu papel como Solução Baseada na Natureza, essencial para a adaptação climática, conservação da biodiversidade e para a promoção do bem-estar no meio urbano (AMARAL; COSTA; MUZZI, 2017; SCHEUER et al., 2022).

2. OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi reportar por Região Administrativa (RA) do DF:

- 1) O estoque de carbono e o potencial de remoção anual de carbono da cobertura vegetal nativa e não-nativa;
- 2) O potencial de remoções anuais de carbono, considerando ações futuras de implantação de florestas urbanas em áreas de Gramados e jardins.
- 3) As emissões brutas e líquidas de GEE relacionadas aos incêndios florestais;

Para calcular as estimativas foram gerados dois mapeamentos principais:

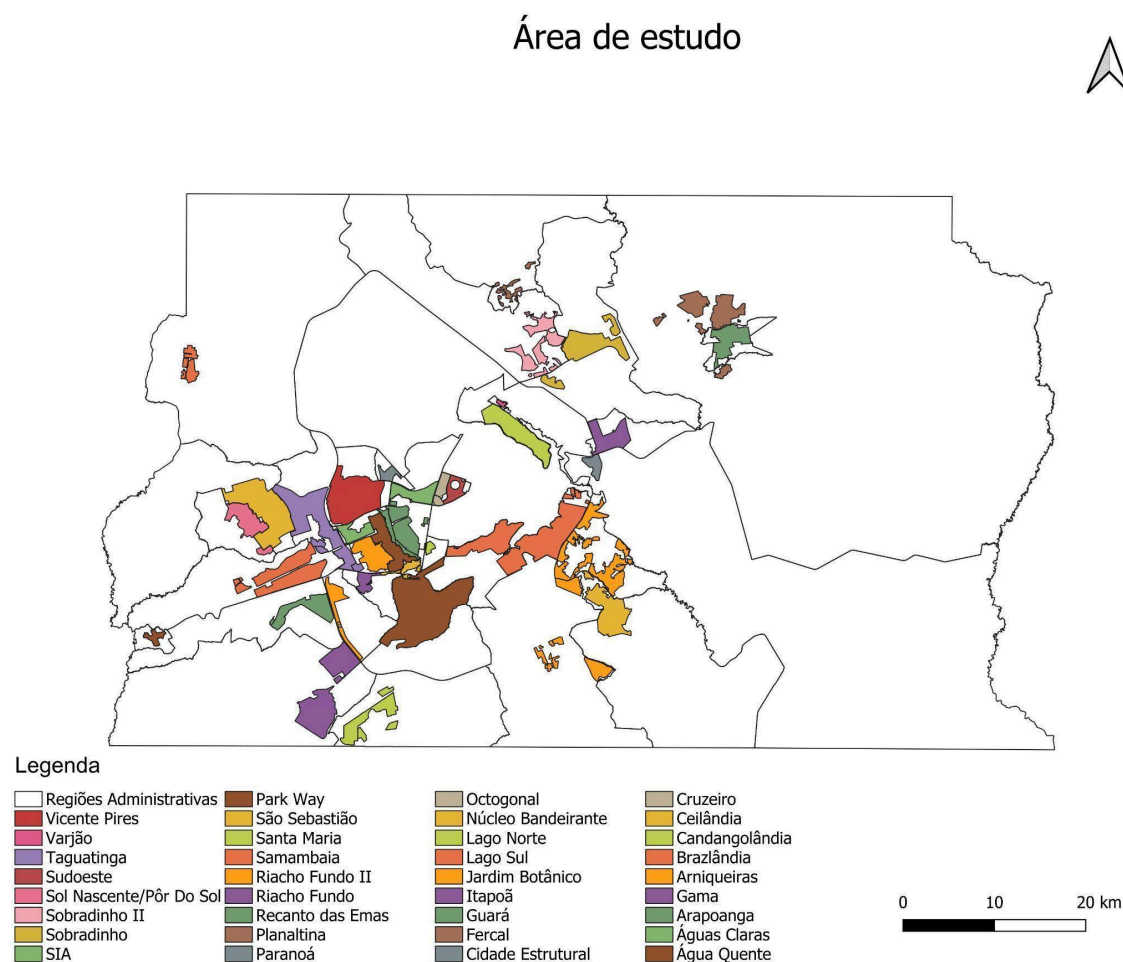
- 1) Mapeamento das classes da cobertura vegetal;
- 2) Mapeamento da área queimada.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no polígono que delimita a ocupação urbana das 35 RAs do DF (Figura 1). A área rural e as unidades de conservação não foram analisadas. Em cada RA do DF, foi quantificada a cobertura vegetal urbana considerando as formações vegetais nativas e não-nativas (Figura 2).

Figura 1: Regiões Administrativas do Distrito Federal.



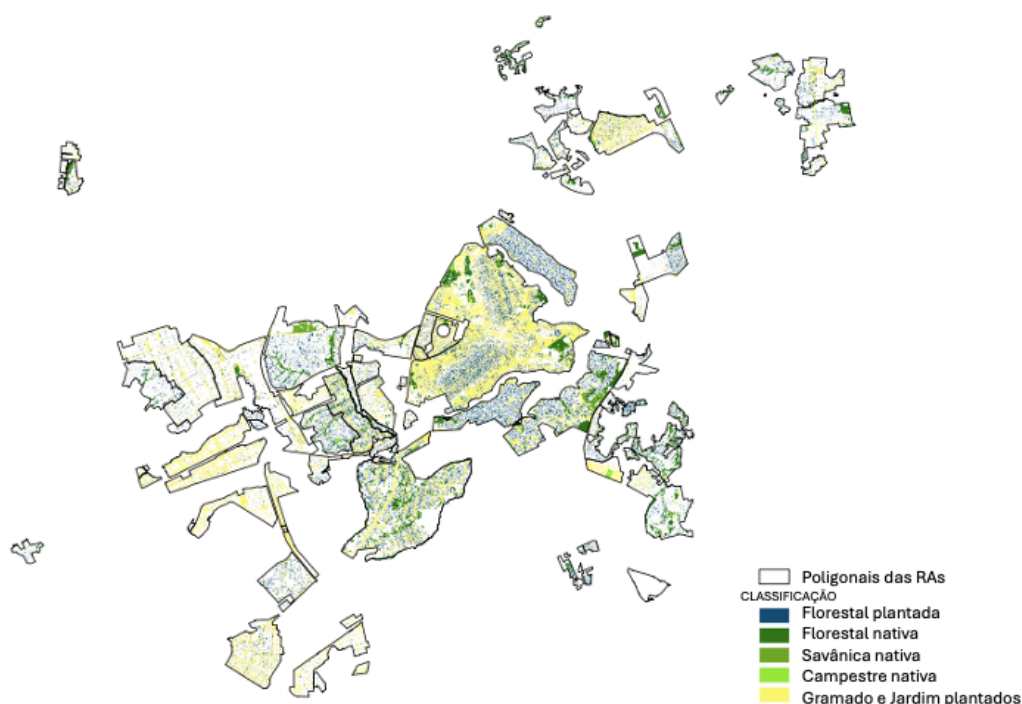
Fonte: Elaboração Própria, 2024

3.2. Mapeamento da cobertura vegetal

Para as estimativas de emissões e remoções da cobertura vegetal existente em cada RA foram mapeadas tanto a vegetação nativa quanto não nativa de Cerrado (Figura 2). As feições de vegetação nativa foram divididas em 3 classes de

formação: 1) campestre, 2) savânica 3) florestal. A vegetação não-nativa, ou seja toda a vegetação que foi plantada, foi classificada em: 1) Florestal Urbana, considerando todos os agrupamentos de árvores plantadas no perímetro urbano e periurbano e 2) Gramado e jardim, sem agrupamentos de árvores. A seguir tem se a descrição detalhada de cada uma dessas classes de vegetação.

Figura 2: Classes de cobertura vegetal por Região Administrativa do Distrito Federal em 2021.



Fonte: Elaboração Própria, 2024

Vegetação nativa – Dentro da classe de vegetação nativa da camada de Cerrado foram observadas as variações das estruturas verticais dos portes das árvores e arbustos em 3 classes de formação: 1) campestre, que apresenta arbustos e árvores nativas em baixa densidade, com predominância de gramíneas nativas; 2) savânica, que se caracteriza predominantemente como o cerrado típico, incluindo também outras fitofisionomias do bioma Cerrado, e apresentando maior densidade de arbustos e árvores nativas, menor cobertura de gramíneas nativas; e 3) florestal, que agrupa todas as fitofisionomias com predominância de espécies arbóreas e cujo dossel apresenta formação contínua e camada de serrapilheira abaixo, dentre elas o Cerradão as Matas Galerias, dentre outras. Estas classificações das variações dentro da vegetação nativa de Cerrado coincidem com a definição de classificação proposta por RIBEIRO e WALTER (2008).

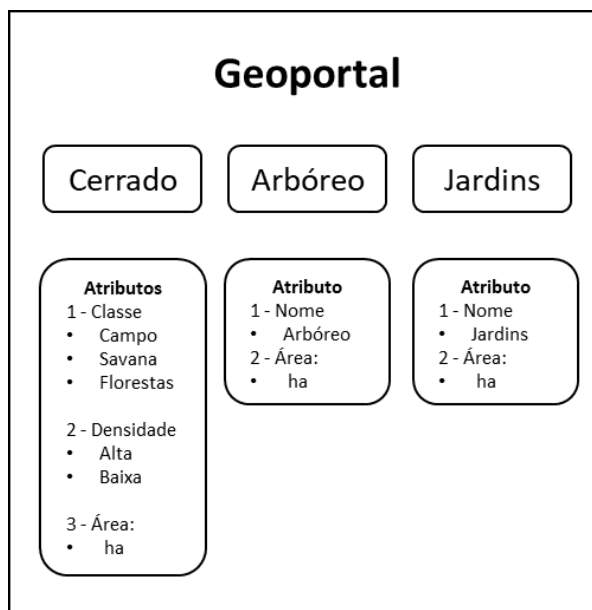
Inicialmente, a base de dados original da vegetação nativa de Cerrado, classificada em formação campestre, savânica e florestal, apresentou algumas variações da densidade da cobertura de dossel em alta e baixa, porém as alterações da dinâmica de dossel na vegetação ao longo dos anos do mapeamento inicial em 2016 até 2021 não foram mapeadas. Portanto, as classes de campo, savana e floresta foram consideradas em um único estágio de sucessão natural, sem apresentar variações de densidade de cobertura de dossel em seus cálculos de estoque e remoções de carbono.

Vegetação não-nativa – A formação florestal urbana foi diferenciada das florestal nativa, uma vez que as definições de estoques e remoções de carbono eram diferentes. No atual estudo, as florestas urbanas são consideradas antrópicas, quando plantadas pelo homem. Considerou-se, nesse caso, que as florestas urbanas plantadas apresentavam mais de 20 anos, com potencial de atingirem 0,04 ha de área de cobertura florestal. Os jardins e gramados foram caracterizados pela cobertura verde sem a presença predominante de árvores e arbustos. Essa classe de vegetação foi incluída como cobertura vegetal, porém não foi utilizada nos cálculos de estoques e remoções por não apresentar valor de biomassa significativo que justifique o cálculo (SEEG, 2023). No entanto, essa classe pode ser utilizada como insumo para possíveis simulações de ações governamentais futuras com plantios de árvores, inclusive com a introdução de espécies florestais de cerrado em novos arranjos mais adaptáveis ao clima regional, observando as demandas por serviços ecossistêmicos em meio urbano.

Nessa perspectiva, o mapeamento da cobertura vegetal para a vegetação nativa se deu a partir do banco de dados da IDE/DF (2024). Foram utilizados dados de imagens de satélite de alta resolução espacial do ano de 2016 com precisão de mapeamento para a escala de 1:1.000, sem ocorrência de sobreposição entre as classes ou contagem duplicada de qualquer área.

Para quantificar a área em hectares de gramados e jardins ao longo das RAs foi utilizada a camada “Vegetação”, que corresponde à restituição do mapeamento sobre o Cerrado, a Massa Arbórea e Jardins da IDE/DF (2024) (Figura 3). Todas as camadas foram unificadas sem sobreposição e com precisão de mapeamentos de 1:1.000.

Figura 3: Características dos dados sobre a base de dados do mapeamento da cobertura vegetal.



Fonte: Elaboração Própria, 2024

3.3.Mapeamento da área queimada

Para a contabilização das áreas queimadas nas RAs, foram utilizados os mapas de área queimada da base de dados do Mapbiomas e Planet, com 30m e 3m de resolução espacial, respectivamente, ambos para o ano base de 2021 (MAPBIOMAS FOGO, 2023). As áreas de queimadas foram identificadas para os cálculos de emissões por queimadas, por RA (Figura 4). A área queimada foi mapeada a partir da comparação das análises de detecção de mudanças (Figura 5), utilizando os polígonos de queimadas dos sistemas de monitoramento da Planet, do Mapbiomas e do INPE, apoiados com inspeção visual sobre as imagens de satélite CBERS-4A de 2m de resolução espacial, sem ocorrência de nuvens, para o ano de 2021.

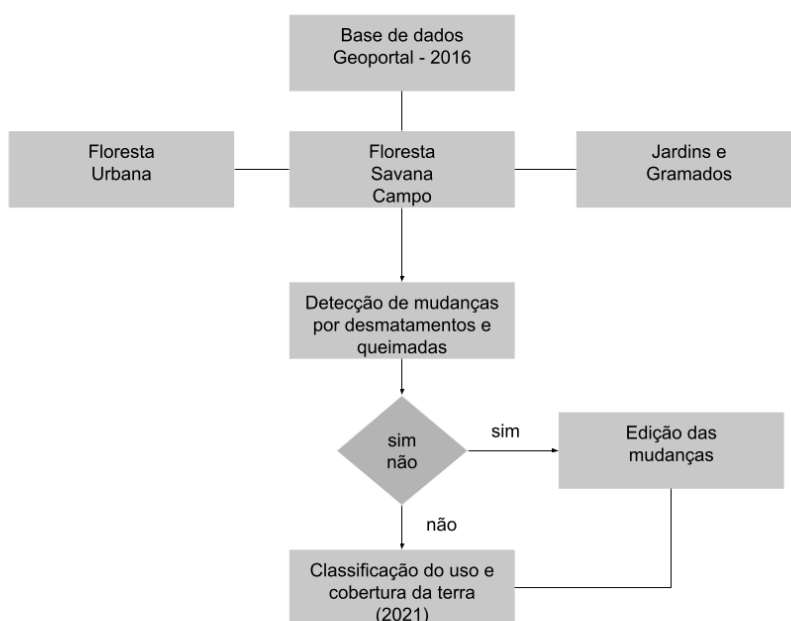
Para a identificação da vegetação associada às áreas queimadas foram utilizados os mapas de cobertura e uso da terra com precisão de escala de 1:1.000 provenientes da restituição da vegetação disponível na IDE/DF (2024) de 2016 atualizados até 2021 (GEOPORTAL, 2023). Para o cálculo das emissões de GEE por queimadas foram utilizados os mapas de queimadas nas diferentes classes vegetais juntamente com uma série de outras variáveis coletadas na literatura.

Figura 4 : Área queimada por Região Administrativa do Distrito Federal.



Fonte: Elaboração Própria, 2024

Figura 5: Fluxograma do modelo.



Fonte: Elaboração própria, 2024

3.5. Fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa contabilizados

Foram contabilizados os processos que geram emissões no setor através da queima de Resíduos Florestais. As emissões por incêndios a partir da queima da biomassa florestal geram emissões de CO₂ e de outros GEE, como N₂O e CH₄ (que possuem uma maior capacidade de acelerar o efeito estufa do que o CO₂) (MCTI, 2020; SEEG, 2023). Tais emissões foram contabilizadas nessa estimativa.

3.6. Processos contabilizados nas remoções de CO₂

Além dos processos que geram emissões de GEE, também foi contabilizada a capacidade que as formações vegetais nativas e não-nativas apresentam em remoções de CO₂ anuais da atmosfera oriundas do crescimento da vegetação. Essas remoções ocorrem durante o processo de fotossíntese, através da fixação de carbono (C) e liberação de oxigênio (O₂) (IPCC, 2003).

4. ANÁLISE DO SETOR PARA O CÁLCULO DAS ESTIMATIVAS

4.1. Emissões de CO₂

Foram usados fatores de combustão e emissões da literatura (Tabela 1, 2 e 3), e o mapa de queimada (Figura 4) para gerar as estimativas de emissões de GEE pela aplicação da seguinte equação (adaptada de (IPCC, 2006b) Volume 4, Capítulo 2):

$$E_{GEE,Wd} = A \times M_{wd} \times CF_{Wd} \times EF_{GEE} \times 10^{-3} \quad (1)$$

Onde, E_{GEE,Wd} = quantidade de CO₂ emitido no processo de combustão (em Mg) em função da classe de material combustível (Wd) considerada (combustível grosso (CWD) ou fino (FWD)); A = área queimada (ha); M = material combustível disponível para combustão (Mg ha⁻¹) (Tabela 1); CF = fator de combustão por classe de material combustível (%) (Tabela 2); e EF = fator de emissão por GEE (g kg⁻¹) (Tabela 3).

O material combustível disponível para combustão (Tabela 1) e os fatores de combustão por classe de material combustível (Tabela 2) foram compilados do SEEG (2023), uma vez que tais são dados coletados em campo especificamente em áreas de Cerrado, apresentando, portanto, maior acurácia. Segundo a classificação da FAO, apresentada pelo IPCC (2006), são consideradas regiões climáticas tropicais secos e úmidas com zonas ecológicas entre florestas úmidas (TAwa), secas (TAWb) e campestres (TBSH) com duração de aproximadamente 5 meses de secas durante o inverno. O Cerrado de Brasília apresenta característica com TAwa, porém os fatores de combustão e emissões no Cerrado brasileiros podem apresentar características das outras zonas ecológicas (SEEG, 2023). Para este estudo são consideradas as pesquisas sobre os fatores mais detalhados que se aproximam da realidade do DF.

Os valores de biomassa foram convertidos em CO₂ - multiplicando o estoque de carbono (x 0,49) e pela razão entre o peso molecular do C e do O₂ (x 3,67). Os resultados nesta nota também estão baseados em GWP (Global Warming Potential), que é definido pela influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra. E os valores de conversão para CO₂ equivalente dos diferentes gases estão de acordo com os Relatórios do IPCC, pelo sufixo AR6 (FORSTER et al., 2021). Os valores de conversão dos gases CH₄ e N₂O foram 27 e 273, respectivamente, para o cálculo de carbono equivalente (CO₂e).

Quadro 1: Material combustível disponível para combustão por classe de vegetação. Fonte: SEEG, 2003.

Estoques de Carbono (tC/ha)				
		Combustível fino (FWD)	Combustível Grosso (CWD)	AGB
Vegetação Nativa	Campestre	0,11	3,63	24,92
	Savânica	27,26	24,82	41,32
	Florestal	27,26	24,82	71,42
Vegetação Plantada	Florestal Urbana	27,26	24,82	71,42

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Quadro 2: Fatores de combustão utilizados para as classes de vegetação. Fonte: SEEG, 2003

	Vegetação Nativa	Fator de combustão (%)	
		Combustível fino (FWD)	Combustível Grosso (CWD)
Vegetação Nativa	Campestre	88,3	33,1
	Savânica	87,3	45,9
	Florestal	62,9	82,4
Vegetação Plantada	Florestal Urbana	62,9	82,4

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Tabela 1: Fatores de emissão por combustão para Gases de Efeito Estufa por classe de vegetação (g kg⁻¹ de matéria seca queimada). Fonte: IPCC, 2006; MCTI, 2015.

Gases traço	Vegetação Nativa		Vegetação Plantada
	Campestre e Savânica	Florestal	Florestal Urbana
CO ₂	1613	1580	1580
CO	65	104	104
CH ₄	2.3	6.8	6.8
N ₂ O	0.21	0.2	0.2
NO _x	3.9	1.6	1.6

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Os estoques de biomassa acima do solo (AGB) foram calculados pelos valores de referência do SEEG (2023), uma vez que os valores estabelecidos pelo IPCC (2003) são superiores aos valores regionais. Segundo o manual do IPCC (2006), os estoques das formações florestais de campo e savana apresentam valores de biomassa total de 80 Mg·ha⁻¹ de matéria seca. Quanto às formações florestais, segundo o manual do IPCC (2006), as florestas secas possuem 210 Mg·ha⁻¹ e as florestas úmidas de mata galerias e ciliares apresentam 220 Mg·ha⁻¹ (IPCC, Capítulo 4, tabela 4.7 p.4.53).

Quanto aos valores regionais, o relatório do Inventário Florestal das Vegetações Nativas (IFN, 2016) no DF, com medições feitas no ano de 2015, apresenta árvores com altura e DAP (Diâmetro na altura do peito) médio de 7,3 m e 14,1 cm, entre 161 espécies no Cerrado, 182 de Matas Galerias e Veredas, 81 de matas Secas e 57 de árvores isoladas em campos e pastagem. O total de áreas

com florestas registrado é de 134.147 ha (p. 33) com a estimativa total de 3,2 milhões de toneladas de carbono estocadas acima do solo e 1,7 milhões de toneladas abaixo do solo. Considerando que a matéria seca de biomassa apresenta 49% de matéria seca, ou seja, o rendimento médio de biomassa total das florestas no DF é de aproximadamente 100 MgC·ha⁻¹, sem considerar o carbono no solo (Inventário Florestal de Brasília, p. 33). A partir dessas premissas infere-se que todas as florestas do DF apresentaram o rendimento médio do estoque de carbono acima do solo em 23,85 MgC·ha⁻¹ (toneladas de carbono por hectare) e 12,67 MgC·ha⁻¹ abaixo do solo, o que demonstra que esses valores são mais similares aos valores adotados pelo SEEG (2023) do que os valores de referência do IPCC (Tabela 1).

4.2. Remoções de CO₂

Foram usados fatores de remoção do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e o mapa de cobertura para gerar as estimativas de remoções de CO₂, pela aplicação da seguinte equação (adaptada de IPCC, 2006b, Volume 4, Capítulo 2, equação 2.9):

$$CG = A \times G \times CF \quad (2)$$

Onde, ΔCG = aumento anual nos estoques de carbono da biomassa devido ao crescimento da biomassa da vegetação (MgC·ha⁻¹·ano⁻¹), A = área de cobertura vegetal (ha); G = crescimento médio anual de biomassa, MgC·ano⁻¹ (Tabela 4) e CF = fração de carbono da matéria seca (0,49 adimensional).

Quadro 3: Fatores de remoção utilizados para as classes de vegetação. Fonte: SEEG, (2003) e IPCC (2006, 2014).

Incremento (MgC·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹)			
		SEEG	IPCC
Vegetação Nativa	Campestre	0,20	0,49
	Savânica	0,20	0,49
	Florestal	0,20	1,17
Vegetação Plantada	Florestal Urbana	0,20	2,80

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Para as estimativas de remoção foram utilizados os valores de referência do IPCC (2006, 2014), ao invés dos valores de referência do SEEG (2023), pois nessa nota buscou-se evitar a simplificação de fatores únicos para todo o complexo da vegetação, utilizando os valores estabelecidos pelo IPCC, de maneira mais conservadora, uma vez que os resultados encontrados nos inventários locais, apesar de não serem totalmente detalhados, indicam possibilidade de valores maiores, porém próximos ao IPCC. Como descrito a seguir.

A nota metodológica do SEEG (SEEG 2023) é reportado o incremento anual médio de carbono de $0,2 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, para todos os tipos de vegetação primária, como apresentado na Tabela 4. Já, segundo o manual de IPCC (2006), o incremento anual médio da biomassa acima do solo apresentam valores de $1 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para formações de campestres e savânicas, $2,4 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para as florestas secas e $5,0 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para florestas úmidas (IPCC, Capítulo 4, tabela 4.12 página 4.63). Transformando esses valores em estoque de carbono anual, essas vegetações obteriam um incremento anual de $0,49 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para campos e savanas e $1,18 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para florestas (Tabela 4).

Considerando um dos poucos estudos locais no DF que calculam o incremento de carbono anual, temos o estudo de AZEVEDO et al., (2022). Nesse estudo, foi reportado o crescimento e a produção de biomassa lenhosa aérea (viva e total), em um cerrado stricto sensu monitorado por 28 anos sendo que os valores de incremento anual médio da biomassa acima do solo variaram entre 1,9 e $2,7 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ (p. 9, figura 4). Transformando esses valores em estoque de carbono anual, essa vegetação obteriam um incremento anual de 0,9 a $1,3 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Desse modo, esses valores apresentados por AZEVEDO et al., (2022) estariam mais próximos dos valores de referência do IPCC (2006).

Em relação à classe Floresta Urbana, o estudo de Nowak (2013) indica que essa classe pode estocar $56 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biomassa de matéria seca quando completados 20 anos de plantio, e embora seja referente a dados do Hemisfério Norte, constata-se o incremento anual médio da biomassa acima do solo a partir desse momento seria de $2,8 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, conforme a (Tabela 4.13 página 4.64). Esse valor de referência foi utilizado nas estimativas devido a ausência de outros estudos.

Os dados de Nowak (2013) foram utilizados em razão das características da arborização urbana do DF. Devido à baixa disponibilidade de mudas de espécies

nativas do bioma Cerrado, a maior parte das mudas plantadas no início da Capital Federal eram oriundas de outras regiões do Brasil, principalmente da região Sudeste, do bioma Mata Atlântica. Esse bioma possui como característica, formações florestais (Florestas Ombrófilas e Florestas Estacionais) com árvores de grande porte, que apresentam elevado crescimento em altura, formando dossel homogêneos cujas copas podem atingir de 20 até 60m de altura, em alguns casos específicos dependendo da disponibilidade de água, matéria orgânica, entre outros fatores. Apesar da predominância no uso de espécies do bioma Mata Atlântica na arborização urbana de Brasília, principalmente no início da implantação das áreas verdes, também foram utilizadas espécies Amazônicas, e até mesmo de outros países que também apresentam características florestais com elevado crescimento em altura.

Posteriormente, na década de 70, após problemas fitossanitários decorrente do ataque de besouros que resultou na morte de mais de 50 mil árvores adultas, no Plano Piloto e em outras Regiões Administrativas como Sobradinho, ficou evidente a necessidade do uso de mais espécies nativas do bioma Cerrado na arborização urbana para reduzir tais transtornos (Pinto & Franco, 2021). No entanto, a arborização urbana ainda continuou sendo feita predominantemente com espécies nativas de outros biomas, de modo que há muitas árvores de grande porte de outras regiões plantadas pela cidade.

Atualmente, estima-se que o Distrito Federal possui cerca de 4 milhões de árvores plantadas nas áreas verdes da cidade, pela arborização urbana (NOVACAP, 2023). Desde 2019 até 2023, a NOVACAP já realizou o plantio de 378 mil árvores e tem como meta o plantio de outras 100 mil até o final de 2024 (NOVACAP, 2023). Entre as principais espécies que foram plantadas na arborização urbana ao longo do tempo estão: o guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), os ipês (*Handroanthus impetiginosus*, *Handroanthus chrysotrichus*, *Handroanthus heptaphyllus*), o flamboyant (*Delonix regia*), o angico (*Anadenanthera macrocarpa*) o pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), o cambuí (*Peltophorum dubium*), a sibipiruna (*Caesalpineia peltophoroides*), o pau-ferro (*Caesalpinia ferra*), o jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosaeifolia*), as cássias (*Cassia macranthera*, *Cassia siamea*), o pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*), *Ficus* (*Ficus benjamina*, *Ficus elastica*), a paineira ou também conhecida como barriguda (*Ceiba speciosa*), entre outras (Silva Jr & Costa e Lima, 2010). Há também

espécies frutíferas como a Mangueira (*Mangifera indica*), o Abacateiro (*Persea americana*), a Jaca (*Artocarpus heterophyllus*), entre outras, que também foram utilizadas na arborização urbana da cidade. Tratam-se de espécies encontradas em formações florestais e apresentam grande produção de biomassa aérea, em troncos e galhos.

Como consequência, há um enorme volume de podas que são realizadas anualmente e também há um grande número de indivíduos arbóreos erradicados decorrentes do manejo florestal da arborização urbana.

Segundo dados da NOVACAP (Processo SEI 04031-00000475/2024-20), leilão realizado no segundo semestre de 2023 vendeu mais de 80% do material acumulado de vários anos: 1946 m³ troncos madeiras nativas diversas, 1520 m³ de troncos madeiras exóticas, 15.000 st (metros estéreo) de lenhas nativas diversas e 20.000 st (metros estéreo) lenhas diversas exóticas. Além disso, em 2022, foi realizada a poda em 86.972 indivíduos arbóreos e em 2023, em 99.469.

Destaca-se também o volume de 10.000 m³ de resíduos de podas de árvores gera material triturado que já foi compostado e está pronto para uso como adubo. A Novacap doa anualmente até 200 toneladas desse composto que também é utilizado internamente como fertilizante nas atividades do Departamento de Parques e Jardins.

5. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÃO ADMINISTRATIVA

(continua)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	Floresta Urbana (ha)	Campo (ha)	Savana (ha)	Floresta (ha)	Gramados e Jardins (ha)	Estoque carbono (tC)	Remoções de carbono/RA (tCo2e)- fator IPCC
RA I - Plano Piloto	1.269,14	21,78	69,39	521,99	3.182,52	131.332,46	15.432,98
RA II - Gama	158,32	0	0,97	3,26	360,46	11.580,12	1.641,27
RA III - Taguatinga	85,94	0	1,99	30,64	315,36	8.408,37	1.018,46
RA IV - Brazlândia	21,42	0,64	1,93	34,84	34,41	4.113,79	375,27
RA IX - Ceilândia	73,15	0	0	0,01	224,48	5.225,09	751,05
RA V - Sobradinho	94,99	13,81	15,62	64,38	338,65	12.371,77	1.306,66
RA VI - Planaltina	91,97	2,48	0	68,60	137,02	11.529,71	1.245,49
RA VII - Paranoá	7,44	0	0	0	37,48	531,36	76,38
RA VIII - Núcleo Bandeirante	21,61	0	0	4,26	31,83	1.847,64	240,29
RA X - Guará	72,01	1,28	3,04	47,87	155,73	8.719,34	954,18
RA XI - Cruzeiro	26,76	0	0	0	55,69	1.911,20	274,74
RA XIII - Santa Maria	17,25	0	5,23	3,40	127,90	1.690,93	201,21
RA XIV - São Sebastião	57,45	0,56	14,70	134,36	55,05	14.320,43	1.198,57
RA XIX - Candangolândia	5,16	0	0	0,02	4,60	369,96	53,06
RA XV - Recanto Das Emas	11,01	0	0		163,18	786,33	113,04
RA XVI - Lago Sul	614,66	11,81	93,86	473,31	455,44	81.875,42	8.548,22
RA XVII - Riacho Fundo	16,58	0	0	5,67	27,59	1.589,10	194,75
RA XVIII - Lago Norte	288,30	7,64	8,57	37,48	157,77	23.811,71	3.151,17
RA XX - Águas Claras	9,13	0	0,15	0,22	96,84	673,98	94,96

APÊNDICE: NOTAS METODOLÓGICAS
Avaliação de emissões de GEE de ações governamentais do DF

							(conclusão)
REGIÃO ADMINISTRATIVA	Floresta Urbana (ha)	Campo (ha)	Savana (ha)	Floresta (ha)	Gramados e Jardins (ha)	Estoque carbono (tC)	Remoções de carbono/RA (tCo2e)- fator IPCC
RA XXI - Riacho Fundo II	5,47	0	0	0	145,83	390,67	56,16
RA XII - Samambaia	27,49	0	0	0,01	583,46	1.964,05	282,27
RA XXII - Sudoeste e Octogonal	31,80	0	0	10,85	178,38	3.046,06	373,42
RA XXIII - Varjão	2,33	0	0,44	0,64	3,88	230,30	27,48
RA XXIV - Park Way	664,48	2,06	57,44	585,98	959,07	91.732,61	9.464,24
RA XXIX - SIA	48,57	0	0,12	25,61	80,05	5.302,89	609,67
RA XXV - SCIA	3,94	0	0,02	0,19	21,79	295,79	41,31
RA XXVI - Sobradinho II	61,41	0,99	13,53	49,00	75,45	8.469,21	868,57
RA XXVII - Jardim Botânico	171,84	6,11	17,58	276,77	154,82	32.918,39	3.004,28
RA XXVIII - Itapoã	50,89	0,02	0,24	34,72	32,74	6.124,68	673,16
RA XXX - Vicente Pires	146,17	50,83	122,04	163,25	76,64	28.408,15	2.517,60
RA XXXI - Fercal	11,30	1,59	2,89	77,58	7,30	6.506,85	459,73
RA XXXII - Sol Nascente / Pôr do Sol	42,88	0,00	0,01	41,06	11,65	5.995,41	617,91
RA XXXIII - Arniqueira	95,78	8,39	16,22	86,58	29,99	13.903,44	1.402,16

Fonte: Elaboração Própria, 2024

6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Devido à complexidade dos cálculos utilizados e devido ao uso limitado de dados apenas disponíveis de forma pública e gratuita, destacou-se alguns pontos de limitação do estudo:

- a) Existe uma carência de estudos de crescimento da biomassa específica para cada classe de vegetação no DF. Então, foram considerados nas estimativas de crescimento (ou seja para as estimativas de remoções) os dados globais do IPCC, ao invés dos dados regionais do SEEG. Pois, os dados do IPCC, apesar de serem globais, ainda assim podem refletir melhor esse cenário de crescimento devido a sua variação entre classes de vegetação.
- b) As estimativas de remoção não consideram o crescimento da biomassa abaixo do solo, bem como as taxas de decomposição da biomassa rasteira, devido a falta de estudos.
- c) Também existe uma ausência de estudos de biomassa específica para crescimento de mudas de Floresta urbana em estágio inicial, e por isso optamos por utilizar o mesmo fator de crescimento de florestas maduras com mais de 20 anos de estabelecimento, devido à falta de outra referência de base.
- d) Algumas árvores e arbustos isolados, em regeneração e com pequena cobertura, não foram mapeados nas camadas da IDE/DF (2024). Assim, estas árvores não foram incluídas nos mapeamentos ora realizados por não atingirem a idade mínima do plantio ou pela incapacidade de identificação com as tecnologias de mapeamentos na paisagem urbana.

7. REFERÊNCIAS

AMARAL, R.; COSTA, S. D. A. P.; MUZZI, M. R. S. O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte: por um sistema de espaços livres mais eficiente no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos. **Paisagem e Ambiente**, n. 39, p. 163, 20 out. 2017.

AZEVEDO, G. B. et al. Prognosis of aboveground woody biomass in a central Brazilian Cerrado monitored for 27 years after the implementation of management systems. **European Journal of Forest Research**, v. 141, n. 1, p. 1–15, 5 fev. 2022.

FORSTER, P. T. et al. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. In: *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. [s.l.] **Cambridge University Press**, 2021. p. 923–1054.

IDE/DF. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Distrito Federal Geoportal/DF**. 2024. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em: 26 fev. 2024

IFN. **Inventário Florestal Nacional: Principais resultados**. Distrito Federal / Serviço Florestal Brasileiro (SFB). Relatório Técnico, p. 66, 2016.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**, 2003.

IPCC. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, p. 20, 2006a.

IPCC. **Chapter 2 Generic Methodologies Applicable To Multiple Land-Use Categories**. Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 1–59, 2006b.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Genebra, Suíça. 2014.

MAPBIOMAS FOGO. **Mapeamento das cicatrizes de fogo do Brasil de 1985 a 2020** (Coleção 1). Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 5 maio. 2021.

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/4782>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

NOWAK, D. J. *et al* Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 229-36, jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>.

NOVACAP. **Áreas Verdes**. Disponível em: <https://www.novacap.df.gov.br/dpj/>. Acesso em: 03/05/2024.

PINTO, M. e FRANCO, J. L Os agentes não humanos na construção da paisagem da Cidade-Parque: História da arborização de Brasília(1960-1980). **Revista Maracanan**, n.26, p.327-349, jan.-abr. 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/maracanan/article/view/54470/36871>. Acesso em: 03/05/2024.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. As Principais Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151–199.

SCHEUER, S. et al. A trait-based typification of urban forests as nature-based solutions. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 78, p. 127780, dez. 2022.

SEEG. **Nota Metodológica SEEG 11 Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas**. n. Versão 1, p. 76, 2023.

SILVA JÚNIOR, M. & COSTA E LIMA, R. **100 Árvores Urbanas de Brasília- Guia de Campo**. Brasília: Rede Sementes do Cerrado, 2010.

**APÊNDICE VI: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE MUDANÇA DE USO E
COBERTURA DO SOLO (Práticas de manejo do solo de baixo carbono)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Equipe Técnica do IPEDF Codeplan

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrópoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica

Carlos Augusto Zangrando Toneli – Bolsista

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVO	6
3. FATORES DE REFERÊNCIA	7
4. REFERÊNCIAS	12

1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta os principais resultados relacionados ao aumento ou redução de emissões decorrentes de diferentes mudanças de uso e cobertura da terra, especialmente relacionadas a práticas de manejo da agricultura e pastagem. Trata-se de recompilação de fatores de emissão e de remoção encontrados na literatura sobre o assunto.

No Brasil, as emissões estimadas dos setores da pecuária, agricultura e de mudanças na cobertura da terra são os setores que mais contribuem para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), segundo todos os quatro relatórios de inventários de emissões de GEE nacionais. No Distrito Federal, as emissões destes setores não são tão expressivas como nos demais estados brasileiros. No entanto, devido à alta qualificação técnica e econômica dos produtores rurais do Distrito Federal, ocorre nesta região um grande potencial para utilização de tecnologias mais sustentáveis capazes de inverter a situação do setor agropecuário de grande emissor para a possível situação de sumidouros de carbono.

2. OBJETIVO

O objetivo é fornecer parâmetros que permitam aferir em que medida a introdução de um novo tipo de manejo da cobertura do solo pode contribuir para a redução das emissões de GEE. Este estudo apresenta algumas possibilidades de práticas de manejo do solo de baixo carbono, capazes de fornecer aos tomadores de decisões uma ferramenta de aproximação para mensurar e gerir de forma mais efetiva as emissões, segundo o GHG Protocol aplicado na Agricultura Brasileira.

3. PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO DE BAIXO CARBONO E FATORES DE REFERÊNCIA

Existem algumas atividades com práticas agrícolas que afetam negativamente o balanço do Carbono aumentando as emissões, como por exemplo: mudança do uso da terra, desmatamento, queima da biomassa e resíduos agrícolas, erosão do solo, superpastejo, degradação de pastagens, mecanização do solo (aração, gradagem, etc.), depleção da fertilidade do solo, tratamento de dejetos e resíduos orgânicos, entre outros.

Em contraste, existem práticas agrícolas que recompõem o reservatório de biomassa, e restauram a capacidade dos solos como sumidouros de Carbono, sendo, portanto, tecnologias mitigadoras de emissões de carbono, tais como: Sistemas de Plantio Direto (SPD), Sistemas de Integração Lavoura Pecuária e Florestas (ILPF), reflorestamento (RF), práticas conservacionistas (PC), uso de inoculantes para Fixação biológica de Nitrogênio (FBN), recuperação de pastagens degradadas (RPD), manejo racional de pastagens, plantio de culturas perenes, uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, adoção de Sistemas Agroflorestais (SAFs), tratamento sanitário de dejetos e resíduos (TDR) orgânicos, com aproveitamento energético do biogás, entre outros (MANZATTO, 2020).

O lançamento do Plano ABC+ no âmbito federal estabelece a continuidade das ações de apoio e desenvolvimento da produção sustentável da agropecuária e silvicultura brasileira para os próximos anos de 2020 a 2030, reafirmando o compromisso deste setor no avanço da redução das emissões de carbono. A proposta do Plano Distrital de Baixo Carbono (Plano ABC+ 2023) considera o DF como referência em agricultura sustentável e vitrine tecnológica do país, tendo papel fundamental na disseminação de técnicas de produção sustentável e no desenvolvimento de novas práticas e soluções para a consolidação de uma agricultura de baixo carbono, moderna e de alto desempenho produtivo.

O Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) utiliza um quadro metodológico para estimar as emissões e remoções de gases com efeito de estufa resultantes do uso da terra, alterações do uso da terra e silvicultura (LULUCF), sigla em inglês, incluindo emissões e remoções associadas às florestas. As equações a seguir são uma simplificação dos cálculos de emissões comumente usados pelo IPCC decorrentes da mudança no uso da terra e do uso remanescente da terra nas florestas:

$$E1 = A \cdot (\gamma_2 - \gamma_1)$$

(1)

$$E2 = A \cdot R$$

(2)

Onde:

E representa as emissões ou remoções líquidas de CO₂ da categoria de uso do solo em CO₂e,

A representa a área total mapeada da categoria de uso da terra (em hectares),

y representa o fator de mudança nos estoques de carbono, que leva em conta mudanças nos estoques de carbono devido a distúrbios induzidos pelo homem, como desmatamento ou florestamento com estoques de carbono;

R representa os fatores de remoções (-) ou emissões (+) de CO₂ da categoria de uso da terra devido ao sequestro de carbono pelo crescimento da vegetação, regeneração florestal ou atividades de florestamento, ou práticas sustentáveis na agropecuária, ou em caso de emissões, as atividades com impactos e degradações do carbono estocado na biomassa vegetal e/ou no solo.

A Equação (1) é uma representação simplificada do balanço de carbono numa determinada categoria de uso do solo no ano em que ocorre a mudança da cobertura da terra. Considera as mudanças nos estoques de carbono resultantes de mudanças no uso da terra (por exemplo, desmatamento ou reflorestamento), isto é, a quantidade de carbono liberada ou absorvida para a atmosfera nesse processo.

Já a **Equação (2)** apresenta o fator de incremento de remoção ou emissão anual de gases de efeito estufa das florestas remanescentes ou práticas de atividades agrícolas mais sustentáveis decorrente do crescimento da biomassa.

É importante observar que o IPCC fornece diretrizes e metodologias detalhadas para estimar emissões e remoções provenientes de cada tipo de uso da terra e de atividades na agropecuária e floresta, levando em consideração fatores como mudanças nos estoques de carbono, área terrestre, dados de atividade e fatores de emissão específicos para diferentes categorias de uso da terra e regiões. Estas diretrizes são atualizadas periodicamente para refletir os avanços na compreensão científica e na disponibilidade de dados.

A Tabela 1 apresenta a compilação da revisão bibliográfica em 2024 de fatores de remoção ou emissão anual de GEE de atividades no setor da agropecuária e silvicultura com práticas sustentáveis e integrações agrosilvopastoril, também chamados com Integração Lavoura, Pecuária e Floresta

(ILPF) (WRI, 2014). Os valores negativos representam remoções médias durante a transição da atividade agrícola convencional para a atividade agrícola mais sustentável e os valores positivos representam emissões de CO₂e.

Quadro 1- Emissões e remoções anuais (tCO₂e/ha/ano) exclusivamente para mudanças de uso do solo do Setor Agropecuária

(continua)

Uso anterior	Uso atual	Fatores de Emissões/ Remoções (tonelada de CO ₂ e/ha/ano)
Cana-de-açúcar com queima	Cana-de-açúcar sem queima	-2,25 (1)
Cultivo convencional	Integração lavoura-pecuária(-floresta)	-6,23 (2)
Cultivo convencional	Pastagem/pastagem melhorada	-3,67 (2)
Cultivo convencional	Pastagem melhorada com insumos	-3,67(2)
Cultivo convencional	Plantio direto	-1,76(3)
Cultivo convencional	Sistema agroflorestal	-8,73(4)
Integração lavoura-pecuária	Cultivo convencional	1,72(5)
Integração lavoura-pecuária	Pastagem/pastagem melhorada	-2,56(5)
Integração lavoura-pecuária	Pastagem melhorada com insumos	-2,56(5)
Integração lavoura-pecuária	Plantio direto	-1,76(5)
Pastagem degradada	Cana-de-açúcar com queima	0,94(6)
Pastagem degradada	Cultivo convencional	0,92(7)
Pastagem degradada	Integração lavoura-pecuária(-floresta)	-6,23(8)
Pastagem degradada	Pastagem melhorada com insumos	-3,67(9)
Pastagem degradada	Pastagem/pastagem melhorada	-3,67(2)
Pastagem degradada	Plantio direto	-0,70(3)

Pastagem/pastagem melhorada	Integração lavoura-pecuária(-floresta)	-3,67(2)
--------------------------------	---	----------

Quadro 1 - Emissões e remoções anuais (tCO₂e/ha/ano) exclusivamente para mudanças de uso do solo do Setor Agropecuária

(continuação)

Uso anterior	Uso atual	Fatores de Emissões/ Remoções (tonelada de CO ₂ e/ha/ano)
Pastagem/pastagem melhorada	Pastagem/pastagem melhorada	-4,63(10)
Pastagem/pastagem melhorada	Pastagem melhorada com insumos	-4,63(10)
Pastagem/pastagem melhorada	Pastagem moderadamente degradada	4,13(9)
Pastagem/pastagem melhorada	Pastagem severamente degradada	4,50(9)
Pastagem/pastagem melhorada	Sistema agroflorestal	-1,61(4)
Pastagem melhorada com insumos	Integração lavoura-pecuária(-floresta)	-3,67(4)
Pastagem melhorada com insumos	Pastagem/pastagem melhorada	-4,63(10)
Pastagem melhorada com insumos	Pastagem melhorada com insumos	-4,63(10)
Pastagem melhorada com insumos	Pastagem melhorada sem insumos	-3,67(10)
Pastagem melhorada com insumos	Pastagem moderadamente degradada	4,13(10)
Pastagem melhorada com insumos	Pastagem severamente degradada	4,50(10)
Pastagem melhorada sem insumos	Pastagem/pastagem melhorada	-4,63(9)
Pastagem melhorada sem insumos	Pastagem melhorada com insumos	-4,63(10)

Pastagem melhorada sem insumos	Pastagem melhorada sem insumos	-3,67(10)
--------------------------------	--------------------------------	-----------

Quadro 1- Emissões e remoções anuais (tCO₂e/ha/ano) exclusivamente para mudanças de uso do solo do Setor Agropecuária

(continuação)

Uso anterior	Uso atual	Fatores de Emissões/ Remoções (tonelada de CO ₂ e/ha/ano)
Pastagem melhorada sem insumos	Pastagem moderadamente degradada	1,50(10)
Pastagem melhorada sem insumos	Pastagem severamente degradada	3,54(10)
Pastagem moderadamente degradada	Pastagem/pastagem melhorada	-4,13(9)
Pastagem moderadamente degradada	Pastagem melhorada com insumos	-4,13(10)
Pastagem moderadamente degradada	Pastagem melhorada sem insumos	-3,54(10)
Pastagem moderadamente degradada	Pastagem severamente degradada	2,03(10)
Pastagem severamente degradada	Pastagem/pastagem melhorada	-4,50(9)
Pastagem severamente degradada	Pastagem melhorada sem insumos	-3,54(10)
Pastagem severamente degradada	Pastagem moderadamente degradada	-2,02(10)
Pastagem severamente degradada	Pastagem severamente degradada	1,83(10)
Plantio direto	Cultivo convencional	0,92(7)
Plantio direto	Integração lavoura-pecuária(-floresta)	-1,03(3)

Agricultura	Eucalipto	-0,97(11)
Área degradada	Eucalipto	-1,54(11)

Quadro 1- Emissões e remoções anuais (tCO₂e/ha/ano) exclusivamente para mudanças de uso do solo do Setor Agropecuária

		(conclusão)
Uso anterior	Uso atual	Fatores de Emissões/ Remoções (tonelada de CO ₂ e/ha/ano)
Pastagem	Eucalipto	-0,97(11)
Pastagem degradada	Eucalipto	-0,8(11)
Agricultura	Paricá	-4,59(11)
Área degradada	Paricá	-1,47(11)
Pastagem	Paricá	-4,4(11)
Pastagem degradada	Paricá	-4,22(11)
Agricultura	Pinus	-0,96(12)
Área degradada	Pinus	-0,81(12)
Pastagem	Pinus	-0,96(12)
Pastagem degradada	Pinus	-0,79(12)
Agricultura	Seringueira	-6,39(13)
Área degradada	Seringueira	-1,47(13)
Pastagem	Seringueira	-6,12(13)
Pastagem degradada	Seringueira	-6,03(13)
Agricultura	Teca	-6,39(13)
Área degradada	Teca	-1,47(13)
Pastagem	Teca	-6,12(13)
Pastagem degradada	Teca	-6,03(13)

(1) GALDOS et al., 2011

(2) ASSAD, 2015

(3) MAIA et al., 2013

(4) Adaptado de FROUFE et al., 2011

(5) Adaptado de ASSAD, 2015

(6) MELLO et al., 2014

(7) Adaptado de MAIA et al., 2009

(8) ASSAD e MARTINS, 2015

(9) Adaptado de IPCC, 2006; ASSAD, 2015

(10) IPCC, 2006

(11) LIMA et al., 2008;

(12) Adaptado de DE GODOI, 2016; LIMA et al., 2008

(13) Adaptado de ESTEVAM et al., 2023; GODOI, 2016; LIMA et al., 2008;

4. REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D. Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um novo paradigma. **Observatório ABC**, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117611/1/sumario-estudo-1.pdf>
Acesso em: 10/04/2024

DE GODOI, S. G., Neufeld, Â. D. H., IBARR, M. A., Ferreto, D. O. C., Bayer, C., Lorentz, L. H., & Vieira, F. C. B. (2016). The conversion of grassland to acacia forest as an effective option for net reduction in greenhouse gas emissions. **Journal of environmental management**, 169, 91-102.

ESTEVAM, C. G., PAVÃO, E.M., ASSAD, E. Quantificação das emissões de GEE no setor agropecuário: fatores de emissão, métricas e metodologias. **Observatório de Conhecimentos e Inovação em Bioeconomia**. São Paulo, Fundação Getúlio Vargas - FGV, 2023. Disponível em: <https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-10/M%C3%A9tricas%20Agropecu%C3%A1rias.pdf>. Acesso em: 10/04/2024.

FROUFE, L.C.M.; RACHWAL, M.F.G.; SEOANE, C.E.S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestratos para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143-143, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/895462/potencial-de-sistemas-agroflorestais-multiestrata-para-sequestro-de-carbono-em-areas-de-ocorrencia-de-floresta-atlantica>. Acesso em: 10/04/2024.

GALDOS, M. V., MAIA, S. M. F., BERNOUX, M., FEIGL, B. J., POWLSON, D., & Cerri, C. E. P. (2011). Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, 62(1), 23-28.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IGES, Hayama, Japão, 2006.

LIMA, A.M.N., SILVA, I.R.D., NEVES, J.C.L., NOVAIS, R.F.D., Barros, N. F. D., Mendonça, E. D. S., & Leite, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 1053-1063, 2008.

MAIA, S. M. F., Carvalho, J. L. N., Cerri, C. E. P., Lal, R., Bernoux, M., Galdos, M. V., & Cerri, C. C. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil and Tillage Research**, 133, 75-84, 2013.

MELLO, Francisco FC et al. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature climate change**, v. 4, n. 7, p. 605-609, 2014.

MANZATTO, C. V. et al. **Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais**. Brasília, Embrapa Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123612/mitigacao-das-emissoes-de-gases-de-efeitos-estufa-pela-adocao-das-tecnologias-do-plano-abc-estimativas-parciais>. Acesso em: 10/04/2024.

WRI Brasil, World Resources Institute. Metodologia do GHG Protocol da agricultura. São Paulo: Unicamp, 2015. Disponível em <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Metodologia.pdf>. Acesso em: 10/04/2024

**APÊNDICE VII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE CONSUMO
ENERGÉTICO (Estimativas do Fator de Emissão de GEE do consumo
energético do Distrito Federal)**

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Equipe Técnica IPEDF

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica - Estimativas do Fator de Emissão de GEE do consumo energético do Distrito Federal

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira - Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

SUMÁRIO

APÊNDICE VII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE CONSUMO ENERGÉTICO (Estimativas do Fator de Emissão de GEE do consumo energético do Distrito Federal)

	98
EQUIPE RESPONSÁVEL	99
SUMÁRIO	100
1. INTRODUÇÃO	101
2. OBJETIVO	101
3. BASES DE DADOS UTILIZADAS	101
4. FATOR DE EMISSÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO	101
5. CONSUMO MÉDIO ENERGÉTICO NO DISTRITO FEDERAL	102
6. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÃO ADMINISTRATIVA	104
7. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	107
8. REFERÊNCIAS	107

1. INTRODUÇÃO

Este documento descreve o procedimento metodológico adotado para a obtenção dos Fatores de Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) relacionados ao consumo de energia elétrica no Distrito Federal (DF). São utilizados dados do Programa Brasileiro GHG Protocol e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC). Esses Fatores de Emissão serão integrados a uma futura ferramenta de cálculo de emissões, cujo propósito é facilitar a tomada de decisões relacionadas a projetos e políticas governamentais.

Também são apresentados os procedimentos metodológicos para encontrar o consumo energético per capita por Região Administrativa do DF.

2. OBJETIVO

O objetivo primordial do desenvolvimento deste procedimento metodológico é encontrar as emissões do consumo energético e consumo médio de energia por domicílio em cada Região Administrativa do DF, consumo médio de energia por domicílio, nas diferentes Regiões Administrativas do DF, que possam ser relacionados à renda da população, bem como as emissões totais por RA.

3. BASES DE DADOS UTILIZADAS

- CONSUMO ENERGÉTICO: NEOENERGIA BRASÍLIA. Base de Dados Geográfica da Distribuidora NEOENERGIA Brasília. Disponível em:
<<https://dadosabertos-aneel.opendata.arcgis.com/datasets/190cae4761b7404ab89bd7f57af3822b/about>>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- Programa Brasileiro GHG Protocol -
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>
- CEB Iluminação- Dados sobre os Projetos de Melhoria da Iluminação Pública 04031-00000010/2024-79

4. FATOR DE EMISSÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO

O Programa Brasileiro GHG Protocol estabelece como obrigatório o uso da abordagem baseada na localização (location-based) que quantifica como fator de

emissão a média das emissões para geração da energia elétrica, considerando seu limite geográfico e dado período de tempo, e levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem.

Os fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica utilizados no presente trabalho correspondem aos dados apresentados pelo MCTIC¹⁰ que calcula a média das emissões para geração de eletricidade que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Para efeito do cálculo de emissões das Regiões Administrativas, tendo como linha de base o ano de 2021, adotou-se o fator de 2021 equivalente a 0,1264 tCO₂/MWh.

5. CONSUMO MÉDIO ENERGÉTICO NO DISTRITO FEDERAL

O consumo médio energético foi calculado a partir da base de dados geográfica da distribuidora (NEOENERGIA Brasília, 2023). A base é de domínio público e é disponibilizada na plataforma de dados abertos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL¹¹), nela são disponibilizados dados de cada unidade consumidora de baixa tensão (UCBT) no DF incluindo, mas não se limitando, a dados de consumo mensal pelo período de 12 meses, com informação se a unidade é comercial ou residencial e sua localização.

Os dados da base foram georreferenciados a partir do CEP das unidades, o que permitiu a análise do consumo por localidade dentro da cada Região Administrativa. Foram selecionadas as unidades residenciais de baixa tensão no perímetro urbano do estudo, de modo que o consumo das áreas rurais não foi analisado. Para a identificação dos lotes foi utilizado o shape de ocupações identificadas, encontrado no conjunto de shapes de cadastro territorial na IDE/DF (2024)¹². Foi então realizada uma análise do consumo mensal total das RAs e notou-se que os valores para o 12º período eram muito superiores aos de todos os outros meses. Tal fato pode se dar pelo aumento de temperaturas que traz consigo

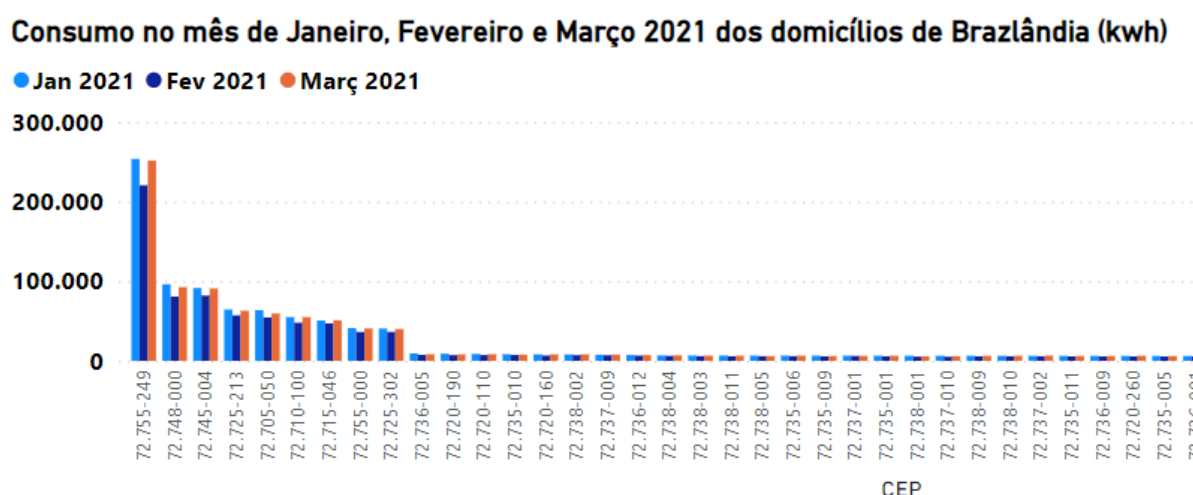
¹⁰ <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>

¹¹ <https://dadosabertos-aneel.opendata.arcgis.com/>

¹² <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>

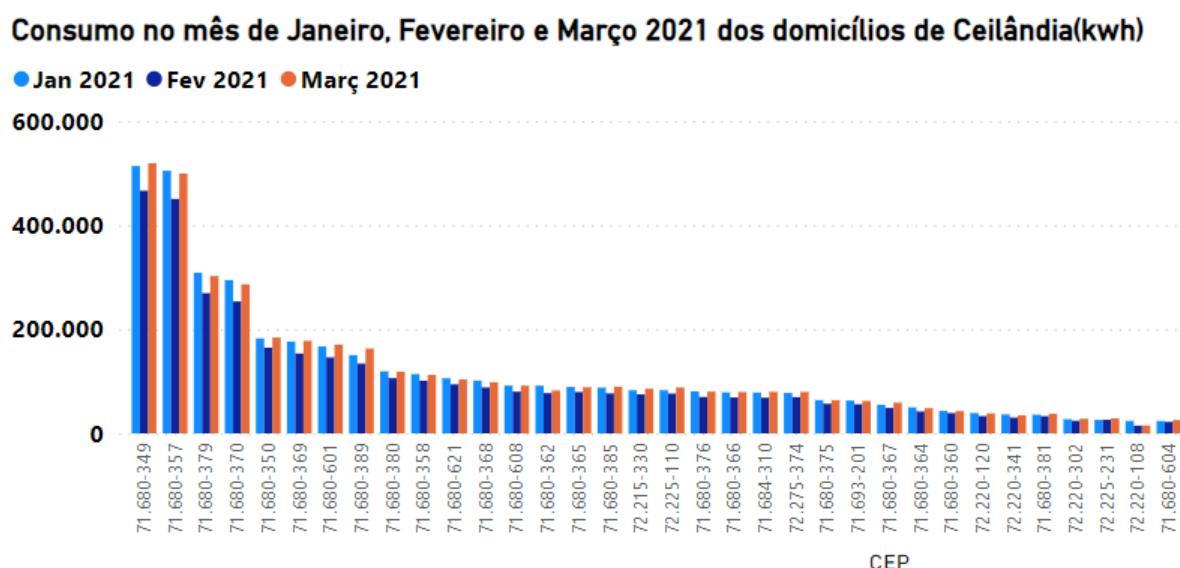
o aumento do consumo no final do ano ou por reajustes tarifários. Pela grande discrepância entre esse período e os outros, foi realizada a análise da distribuição de frequência dos valores de consumo desconsiderando esse mês atípico. Foi constatado que a distribuição de frequência do consumo é assimétrica à direita e, por isso, decidiu-se trabalhar com os valores medianos de consumo para cada RA já que a média apresentaria uma distorção muito grande da realidade devido à influência de poucos valores muito altos.

Gráfico 1: Consumo energético por unidade domiciliar em Brazlândia nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2021.



Fonte: Neoenergia 2021. Elaboração: própria.

Gráfico 2: Consumo energético por unidade domiciliar em Ceilândia nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2021.



Fonte: Neoenergia 2021. Elaboração: própria

6. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÃO ADMINISTRATIVA

Tabela 1- Resultados encontrados por Região Administrativa

(continua)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	Consumo energético médio mensal (Kwh/domicílio)	Energia consumida por RA em 2021 (Kwh)	Emissões oriundas do consumo energético tCO2 (2021=0,1264 tCO2/MWh)	Emissões/per capita oriundas do consumo energético kgCO2
RA I - Plano Piloto	188,41	219.805.152,75	27.783,37	123,57
RA II - Gama	153,60	74.396.631,28	9.403,73	68,47
RA III - Taguatinga	168,44	160.487.464,24	20.285,62	96,37
RA IV - Brazlândia	161,37	13.403.076,75	1.694,15	30,32
RA IX - Ceilândia	156,55	177.914.310,79	22.488,37	64,19
RA V - Sobradinho	189,37	52.828.992,95	6.677,58	90,93
RA VI - Planaltina	146,54	35.598.416,05	4.499,64	24,13
RA VII - Paranoá	143,49	21.741.332,08	2.748,10	39,34
RA VIII - Núcleo Bandeirante	166,51	10.820.376,25	1.367,70	56,77
RA X - Guará	175,76	94.659.504,53	11.964,96	84,21
RA XI - Cruzeiro	189,99	25.415.381,66	3.212,50	104,10
RA XIII - Santa Maria	118,33	54.335.912,28	6.868,06	52,44
RA XIV - São Sebastião	138,60	33.012.300,82	4.172,75	35,07
RA XIX - Candangolândia	178,31	9.421.522,12	1.190,88	72,89

Tabela 1- Resultados encontrados por Região Administrativa

(continuação)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	Consumo energético médio mensal (Kwh/domicílio)	Energia consumida por RA em 2021 (Kwh)	Emissões oriundas do consumo energético tCO2 (2021=0,1264 tCO2/MWh)	Emissões/per capita oriundas do consumo energético kgCO2
RA XV - Recanto Das Emas	148,01	47.390.400,95	5.990,15	44,85
RA XVI - Lago Sul	561,40	74.396.631,28	9.403,73	308,87
RA XVII - Riacho Fundo	150,62	22.857.181,57	2.889,15	64,98
RA XVIII - Lago Norte	261,97	42.790.567,87	5.408,73	144,08
RA XX - Águas Claras	189,63	141.560.548,13	17.893,25	148,98
RA XXI - Riacho Fundo II	147,65	14.264.794,42	1.803,07	24,70
RA XII - Samambaia	155,40	109.446.822,86	13.834,08	55,87
RA XXII - Sudoeste e Octogonal	187,16	45.960.677,49	5.809,43	104,93
RA XXIII - Varjão	133,89	4.894.575,87	618,67	69,10
RA XXIV - Park Way	436,07	40.053.537,69	5.062,77	219,35
RA XXIX - SIA	152,48	472.608,61	59,74	1,59
RA XXV - SCIA	122,70	9.393.096,35	1.187,29	31,64
RA XXVI - Sobradinho II	188,61	41.773.246,63	5.280,14	66,98
RA XXVII - Jardim Botânico	291,61	48.163.365,95	6.087,85	114,77
RA XXVIII - Itapoã	176,61	13.734.931,78	1.736,10	26,56
RA XXX - Vicente Pires	203,71	61.609.760,02	7.787,47	99,13

Tabela 1- Resultados encontrados por Região Administrativa

				(conclusão)
REGIÃO ADMINISTRATIVA	Consumo energético médio mensal (Kwh/domicílio)	Energia consumida por RA em 2021 (Kwh)	Emissões oriundas do consumo energético tCO2 (2021=0,1264 tCO2/MWh)	Emissões/per capita oriundas do consumo energético kgCO2
RA XXXI - Fercal	140,86	3.536.333,23	446,99	47,61
RA XXXII - Sol Nascente / Pôr do Sol	132,74	39.306,51	4,97	0,05
RA XXXIII - Arniqueira	186,07	22.791.095,74	2.880,79	61,23

7. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A matriz energética brasileira, baseada principalmente em energia hidráulica, está sujeita a uma forte variação sazonal em seus Fatores de Emissão (FE) de acordo com a disponibilidade hídrica dos reservatórios. Por isso, é possível que as emissões do consumo energético para o ano de 2021 tenham sido superiores a de outros anos mais típicos uma vez que o fator de emissão de 2021 é bastante superior ao dos demais anos (tabela 2). A utilização do ano de 2021 como linha de base deve-se às informações disponíveis para os demais setores estudados, em especial a Pesquisa Distrital de Amostra de Domicílios (PDAD).

Tabela 2: Série histórica com Fatores Médios Anuais de Emissão do SIN (tCO₂/MWh).

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0,1355	0,1244	0,0817	0,0927	0,0740	0,0750	0,0617	0,1264	0,0426	0,0385

Fonte MCTI (2024)

8. REFERÊNCIAS

BNDES, Way Carbon. **Relatório Metodológico- Emissões evitadas e Removidas**. v. 4.0, janeiro 2024. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/10172a6e-4c36-457b-b4f2-7cac59652c50/20240221_Relat%C3%B3rio+-+Emiss%C3%B5es+Evitadas_Site.pdf?MOD=AJPERES&CVID=oTnycB4. Acesso em: 12 jan. 2024.

FGVces. **Nota técnica: diretrizes para a contabilização de emissões de Escopo 2 em inventários organizacionais de gases de efeito estufa no âmbito do Programa Brasileiro GHG Protocol**: versão 4.0, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/30248>. Acesso em: 11 dez. 2023.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2023). **Fator médio - Inventários corporativos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 20 jan. 2024.

NEOENERGIA BRASÍLIA. **Base de Dados Geográfica da Distribuidora NEOENERGIA Brasília**. Disponível em: <https://dadosabertos-aneel.opendata.arcgis.com/datasets/190cae4761b7404ab89bd7f57af3822b/about>. Acesso em: 26 jan. 2024.

APÊNDICE VIII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE RESÍDUOS
(Estimativas emissões de geração de resíduos sólidos)

EQUIPE RESPONSÁVEL

Supervisão

Renata Florentino – Diretora de Estudos e Políticas Ambientais e Territoriais - (DEPAT)

Coordenação da Pesquisa

Anamaria de Aragão C. Martins – Coordenadora de Estudos Territoriais - (COET/DEPAT)

Equipe Técnica IPEDF

Larissa Carvalho de Carvalho – Assessora Especial - (COET/DEPAT)

Jéssica Oliveira- Gerente de Metrôpoles - (COET/DEPAT)

Umberto Menezes – Economista - (COET/DEPAT)

Rafael de Acypreste – Assessor - (DEPAT)

Colaboração

Aline Nóbrega - Coordenadora de Estudos Ambientais - (COEA/DEPAT)

Leandro de Almeida Salles - Gerente de Sustentabilidade - (COEA/DEPAT)

Pesquisador colaborador

Rubens Amaral

Elaboração da Nota Metodológica - Estimativas emissões de geração de resíduos sólidos

Rebeca Borges de Oliveira – Bolsista

SUMÁRIO

APÊNDICE VIII: NOTA METODOLÓGICA DO SETOR DE RESÍDUOS (Estimativas emissões de geração de resíduos sólidos)	105
EQUIPE RESPONSÁVEL	106
SUMÁRIO	106
1. INTRODUÇÃO	108
2. OBJETIVO	108
3. BASES DE DADOS UTILIZADAS	109
4. FATOR DE EMISSÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	109
5. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÃO ADMINISTRATIVA	113
6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	115
7. REFERÊNCIAS	115

1. INTRODUÇÃO

Este documento descreve de maneira detalhada o procedimento metodológico adotado para a obtenção dos Fatores de Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no âmbito do Distrito Federal (DF). A base para essa análise é constituída pelos dados fornecidos pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU) e pela Calculadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU do Projeto ProteGEEr, coordenado no Brasil pela Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional¹³ em parceria com a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Os Fatores de Emissão de GEE assim obtidos serão integrados a uma futura ferramenta de cálculo de emissões, cujo principal objetivo é simplificar e apoiar a tomada de decisões relacionadas a projetos e políticas governamentais relacionadas ao manejo dos resíduos sólidos no DF. Destaca-se que este trabalho não apenas visa quantificar as emissões, mas também visa fornecer uma base sólida para orientar ações sustentáveis e mitigadoras.

Adicionalmente, este documento apresenta os procedimentos metodológicos específicos utilizados para calcular a geração de emissões de GEE pelos RSU em cada Região Administrativa (RA) do DF. Essa abordagem permite uma análise mais direcionada, considerando as características específicas de cada localidade.

2. OBJETIVO

O objetivo deste procedimento metodológico é apresentar o cálculo das emissões de GEE provenientes da produção de RSU em cada RA, considerando geração de RSU por RA no ano de 2021. Este cálculo leva em consideração as variações nas diferentes RA do DF, buscando estabelecer conexões com a renda da população. Adicionalmente, o procedimento visa determinar as emissões totais e evitadas pela RA.

¹³ Atualmente é de competência do Ministério das Cidades.

3. BASES DE DADOS UTILIZADAS

- Calculadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU - <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/kit-de-ferramentas-de-gestao-de-rsu>.
- SLU: dados do Relatório de Gravimetria por RA <https://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/RelatorioGravimetria-PeriodoChuvoso2021.pdf>;
- SLU: Dados de resíduos coletados, reciclados, compostagem, varrição para 2021 e 2022. Processo 04031-00000306/2023-17: arquivo Anuario_CODEPLAN- SLU 2021-2022 e Processo 04031-00000448/2024-57.

4. FATOR DE EMISSÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Para avaliar as emissões de GEE decorrentes da produção de resíduos sólidos, foi utilizado o fator de emissão com equivalência de metano e óxido nitroso utilizados da Ferramenta GRS GEE disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer>. Essa ferramenta considera as emissões específicas de GEE por massa de material primário e material reciclado para obter seu saldo líquido de emissões de GEE, em todo o seu ciclo de vida (GIEGRICH, 2021, p. 86).

As informações necessárias para os cálculos incluem a quantidade total de resíduos sólidos coletados, a quantidade de resíduos seletivos e compostados, bem como sua gravimetria correspondente (resíduos de alimentos, podas, plástico, vidro, metais e outros), o método de disposição final - descontrolada (descarte ou queima a céu aberto) ou controlada (lixão, aterro controlado sem coleta de gás, aterro sanitário com possibilidade de coleta de gás) -, existência de tratamento dos resíduos orgânicos (tratamento biológico, produção de combustível derivado de resíduos), existência de incineração.

A ferramenta de cálculo investigou os fatores de emissão para os recicláveis secos, papel, vidro, metais ferrosos, alumínio e plástico no Brasil, bem

como para resíduos orgânicos (alimentares e verdes), considerando compostagem.

Em detalhes:

- Compostagem: utiliza fatores de equivalência de GEE atualizados para metano e óxido nitroso, com uma tecnologia de 80% aberta e 20% em contêiner fechado, resultando em um fator de emissão ponderado de 71 kg CO₂e/t de resíduo úmido.
- Reciclagem de papel e papelão: resulta em uma emissão líquida de -292 kg CO₂e/t de papel reciclado.
- Reciclagem de vidro: apresenta um fator líquido de emissão de -121 kg CO₂e/t de vidro para o Brasil.
- Metais ferrosos (ferro e aço): o fator de emissão de GEE é de -1.648 kg CO₂e/t de metais ferrosos, devido à falta de dados específicos para o contexto brasileiro.
- Alumínio: devido à ausência de um fator de emissão brasileiro específico, a ferramenta adota um conjunto de dados globais, resultando em um fator de emissão líquida de -9.183 kg CO₂e/t de alumínio.
- Termoplásticos: o fator de emissão para a reciclagem de termoplásticos re-granulados é de -1.500 kg CO₂e/t.

A Tabela 1 apresenta os fatores de emissão específicos em kg CO₂e/t de resíduo:

Tabela 1: Fatores de emissão específicos.

kg CO ₂ e/t Resíduo	Resíduo orgânico (Composta gem)	Papel e papelão	Vidro	Metais ferrosos	Alumínio	Plástico
Resultado de emissão líquida	71	-292	-121	-1.648	-9.183	-1.500

Fonte: Adaptado de GIEGRICH, 2021.

Além disso, a disposição final de resíduos em aterros sanitários é uma fonte significativa de contribuição para o aquecimento global, principalmente devido às emissões consideráveis de metano provenientes da degradação anaeróbica dos resíduos. As diretrizes do IPCC (2006), atualizadas em 2019, oferecem metodologias detalhadas para a medição e cálculo dessas emissões em aterros

sanitários, considerando variáveis como idade, composição e propriedades dos resíduos, bem como a tecnologia adotada no local de disposição.

Na ferramenta de cálculo utilizada, são computados dados fundamentais que incluem (1) a quantidade total de resíduos, (2) a composição dos resíduos em porcentagens de peso úmido, (3) as características dos resíduos (como o teor de água) e (4) o fator de emissão específico do país para a geração de eletricidade (GIEGRICH, 2021, p. 26). A composição gravimétrica dos resíduos deve abranger categorias como resíduos de alimentos, resíduos de jardins e parques, papel e papelão, plásticos, vidro, metais ferrosos, alumínio, têxteis, borracha e couro, fraldas descartáveis, madeira, resíduos minerais e outros. Essas categorias foram delineadas com base na composição indicada no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), combinada à recomendação do IPCC (2006). A integração dessas fontes passou por ajustes específicos para gerar valores finais que não só refletissem a realidade nacional, mas também contemplassem outras categorias não inicialmente consideradas. Explicações e recomendações adicionais sobre a composição dos resíduos incluem (GIEGRICH, 2021, p. 30):

- Na ausência de informações específicas sobre resíduos de jardins e parques, é sugerido adotar uma porcentagem de 90% para resíduos alimentares e 10% para resíduos verdes;
- As fraldas descartáveis não são especificadas na composição dos resíduos do DF. A fração corresponde à composição das fraldas, estimada em 4,0% conforme dados do IPCC, deve ser devidamente considerada. Para manter a consistência, essa porcentagem foi subtraída da fração relacionada a "outros";
- Os números do IPCC também incluem 2,6% para têxteis e 0,7% para borracha e couro. Isso também é subtraído da fração de "outros resíduos" do PLANARES.

Para simular as emissões de GEE de cada RA, foram utilizadas informações sobre resíduos coletados informados pelo SLU por meio do Processo 04031-00000306/2023-17: arquivo Anuario_CODEPLAN- SLU 2021-2022, o estudo de gravimetria (SLU, 2021) e o Processo 04031-00000475/2024-20. Esse estudo analisou a composição gravimétrica da coleta convencional das 35 RAs existentes. Dessas, 17 RAs contam com a análise gravimétrica da coleta convencional e seletiva. Para as RAs sem os dados necessários foi utilizado para a

coleta convencional e seletiva a seguinte composição gravimétrica (Tabela 2), baseada na média dos três lotes coletados em cada RA de 2023.

Tabela 2: Composição gravimétrica da coleta convencional e seletiva com base nos dados do Processo 04031-00000448/2024-57.

Componentes	Coleta Convencional em % de resíduos úmidos	Coleta Seletiva em % de resíduos úmidos
Resíduos de alimentos	45,2	13,3
Resíduos de jardins e parques	5	1,5
Plástico	14,5	25,7
Papel	8,4	30,8
Vidro	3,4	8,2
Alumínio	0,4	0,9
Metal Ferroso	1,2	1,8
Tecido	2,6	3,4
Borracha e Couro	0,7	1,3
Fraldas (descartáveis)	4	4
Madeira	0,8	1,2
Resíduos minerais	0,5	1,2
Outros	13,8	6,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

A composição gravimétrica da Tabela 2 foi considerada da seguinte maneira:

- Na categoria plástico, foram contempladas as frações “Embalagem Longa Vida”, “Isopor”, “PET”, “Plástico Duro”, “Plástico Filme” e “Plástico Mole”.
- Para a categoria de Papel, considerou as subcategorias “Papel Branco”, “Papel Colorido”, “Papel Misto”, “Papelão” e “Jornais, Revistas e Panfletos”.
- O item “Outros” abrange todas as frações de resíduos não mencionados especificamente, como “Areias, Pedra, contaminantes biológicos (fraldas, papel higiênico, absorventes)” e “especiais”.

Após simulação da composição dos resíduos do DF da ferramenta de cálculo retromencionada, estima-se, para Distrito Federal, o fator de emissão para a disposição final no aterro sanitário de **1,27 t CO₂e/ano**

5. RESULTADOS ENCONTRADOS POR REGIÃO ADMINISTRATIVA

Tabela 3: Resultados encontrados por Região Administrativa

(continua)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	Resíduo domiciliar SLU 2021 t/ano	Resíduo seletivo coletado pelo SLU 2021 t/ano	% do resíduo reciclado	Geração de resíduos por hab kg/hab/ano	Emissões Totais RSU tCO2e/ano	Emissões Evitadas RSU tCO2e/ano	Emissões Líquidas RSU tCO2e/ano	Emissões Líquidas RSU/hab kg CO2e/ano
RA I - Plano Piloto	64.964,84	12.189,12	0,19	288,93	98.790,00	12.130,00	86.660,00	385,42
RA II - Gama	34.026,16	582,77	0,02	247,77	39.412,00	661,00	38.752,00	282,18
RA III - Taguatinga	51.871,20	3.145,20	0,06	246,42	73.882,00	3.525,00	70.356,00	334,24
RA IV - Brazlândia	12.415,42	358,79	0,03	222,18	18.252,00	390,00	17.862,00	319,65
RA IX - Ceilândia	70.867,89	2.763,63	0,04	202,28	96.268,40	3.166,27	93.102,13	265,74
RA V - Sobradinho	16.978,12	185,96	0,01	231,19	21.915,62	207,52	21.708,10	295,60
RA VI - Planaltina	41.891,06	42,86	0,00	224,62	58.437,41	46,61	58.390,80	313,09
RA VII - Paranoá	12.036,40	34,08	0,00	172,30	16.804,46	37,06	16.767,40	240,02
RA VIII - Núcleo Bandeirante	7.272,20	110,48	0,02	301,84	7.275,76	120,15	7.155,61	297,00
RA X - Guará	33.205,61	2.727,36	0,08	233,71	39.568,62	3.581,55	35.987,07	253,28
RA XI - Cruzeiro	5.835,45	264,76	0,05	189,09	8.722,10	285,61	6.410,00	207,71
RA XIII - Santa Maria	26.656,76	617,25	0,02	203,53	31.467,53	671,29	30.796,24	235,14
RA XIV - São Sebastião	24.137,40	9,13	0,00	202,88	32.847,71	9,93	32.837,78	276,01
RA XIX - Candangolândia	3.786,29	92,45	0,02	231,73	4.234,47	100,54	4.133,93	253,01
RA XV - Recanto Das Emas	25.177,95	622,10	0,02	188,51	28.914,59	713,33	28.201,26	211,14
RA XVI - Lago Sul	21.585,08	44,67	0,00	708,96	25.572,60	48,58	25.524,02	838,34
RA XVII - Riacho Fundo	17.084,72	78,71	0,00	384,24	17.362,76	85,60	17.277,16	388,57

Tabela 3: Resultados encontrados por Região Administrativa

(conclusão)

REGIÃO ADMINISTRATIVA	Resíduo domiciliar SLU 2021 t/ano	Resíduo seletivo coletado pelo SLU 2021 t/ano	% do resíduo reciclado	Geração de resíduos por hab kg/hab/ano	Emissões Totais RSU tCO2e/ano	Emissões Evitadas RSU tCO2e/ano	Emissões Líquidas RSU tCO2e/ano	Emissões Líquidas RSU/hab kg CO2e/ano
RA XII - Samambaia	49.043,61	333,89	0,01	198,05	67.578,79	363,12	67.215,67	271,44
RA XXII - Sudoeste e Octogonal	14.375,09	2.492,71	0,17	259,64	22.801,90	822,80	21.979,10	396,98
RA XXIII - Varjão	1.837,09	-	-	205,19	2.598,00	0,00	2.598,00	290,18
RA XXIV - Park Way	12.866,58	12,15	0,00	557,45	14.474,30	13,21	14.461,09	626,54
RA XXIX - SIA	5.243,55	4,77	0,00	139,73	6.767,72	5,19	6.762,53	180,20
RA XXV - SCIA	11.108,00	-	-	296,00	12.192,32	15,74	12.176,58	324,48
RA XXVI - Sobradinho II	19.589,44	719,80	0,04	248,48	28.393,26	914,69	27.478,57	348,55
RA XXVII - Jardim Botânico	9.621,71	1,10	0,00	181,39	11.807,89	1,20	11.806,69	222,58
RA XXVIII - Itapoã	15.883,06	-	-	242,96	20.882,21	0,00	16.440,00	251,48
RA XXX - Vicente Pires	25.467,31	410,75	0,02	324,17	29.564,35	425,63	29.138,72	370,91
RA XXXI - Fercal	3.948,34	-	-	420,57	5.451,00	16,00	5.435,00	578,93
RA XXXII - Sol Nascente / Pôr do Sol	22.450,91	0,00	0,00	247,87	31.263,60	0,00	31.263,60	345,17
RA XXXIII - Arniqueira	13.442,96	11,34	0,00	285,75	14.800,00	18,00	14.782,00	314,21

* Dados sobre resíduos coletados pelo SLU oriundos do Arquivo Anuario_CODEPLAN- SLU 2021-2022- Processo 04031-000003062023-17

**Cálculo de emissões por RA realizados na Ferramenta GRS GEE:

<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer>

6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A metodologia de cálculo para a geração de RSU atualmente adotada não incorpora as emissões de GEE derivadas das fases de coleta e transporte dos resíduos até as instalações de tratamento, uma vez que os cálculos realizados utilizaram a ferramenta de cálculo do Projeto ProteGEEr, coordenado no Brasil pela Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional em parceria com a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, que não possui esse módulo. Essa lacuna é crucial, uma vez que as emissões associadas a essas etapas também exercem impacto significativo, especialmente no que diz respeito à reciclagem em áreas urbanas com baixa demanda por materiais reciclados, como é o caso do DF.

Nesse contexto, torna-se evidente que as emissões provenientes do transporte do material reciclado para outras regiões do país, onde há demanda industrial, desempenham um papel relevante. Este é um cenário observado no DF, onde a necessidade de encaminhar os materiais reciclados para estados e municípios que demandam tais insumos industriais gera uma considerável emissão de GEE.

Por outro lado, destaca-se a compostagem da matéria orgânica como uma alternativa mais favorável no cenário local do DF. Com uma extensa área agrícola e uma tendência crescente em direção à agricultura orgânica, a compostagem emerge como uma solução mais sustentável, apresentando maiores possibilidades de aproveitamento e menor impacto ambiental.

7. REFERÊNCIAS

FORSTER, P. et al. The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (Eds.). **Climate Change Research Panel on Climate Change**. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2021. v. 17p. 923–1054.

SEMA. **Inventário do Distrito Federal de Emissões GEE antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa**. Brasília: Secretaria do estado do meio ambiente do Distrito Federal e Governo do Distrito Federal, 2021.

GEF. **Calculating Greenhouse Gas Benefits of Global Environment Facility**

Transportation Projects. Institute for Transportation and Development Policy. 2012.

GHG. **GHG Protocol Agricultural Guidance:** Interpreting the Corporate Accounting and Reporting Standard for the agricultural sector. [s.l.] World Resource Institute World Business Council for Sustainable Development, 2014.

GIEGRICH, J. **MANUAL DA CALCULADORA DE EMISSÕES DE GEE PARA RESÍDUOS** Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU para o Brasil – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/copy_of_ManualdaFerramentadeGEE_02.08.2021.pdf. Acesso em: 12/12/2023.