

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA

GILBERTO MARTINS DE AZEVEDO

**PRODUÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
E SUA APLICAÇÃO COMO COMBUSTÍVEL VEÍCULAR**

CURITIBA

2020

GILBERTO MARTINS DE AZEVEDO

**PRODUÇÃO DE BIOMETANO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
E SUA APLICAÇÃO COMO COMBUSTÍVEL VEÍCULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação – MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de especialização.

Orientador: Prof. Nicolas Lazzaretti Berhorst

CURITIBA

2020

AGRADECIMENTOS

O nosso orientador, Profº Nicolas Berhorst, pelo acompanhamento, orientação e amizade.

Ao Engº Alexandre José Domingues Gonçalves, que inúmeras vezes não mediu esforços para a realização do meu trabalho sempre com a certeza de que tudo daria certo, muito obrigado.

A tutoria do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECCA) pelo apoio recebido.

Agradecemos também a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

RESUMO

O presente estudo, estima a capacidade de produção de biogas através da digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos do Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR) e a sua possível utilização como combustível na frota de ônibus urbano municipal, indicando dois possíveis cenários. No cenário nº 1 estimou-se que para a cidade de Curitiba-Pr, há um potencial de geração de resíduos sólidos orgânicos (RSO) de 730 mil t por ano com uma produção de biogás estimada de 77.683 m³ por ano. No cenário nº 2, considerou-se também a biodigestão anaeróbia e seguindo a gestão consorciada de resíduos sólidos orgânicos (RSO) com os municípios vizinhos, Araucária e Fazenda Rio Grande, constatou-se que há um potencial de geração de resíduos sólidos orgânicos (RSO) de 787.000 t por ano e uma produção de biogás estimada 87.491 m³ por ano podendo abastecer 150 ônibus diariamente da frota municipal do transporte coletivo da capital e evitar emissões gases de efeito estufa (GEE) superiores a 31.000 tCO₂eq ao dia.

Palavras-chaves: biometano, transporte, ônibus, resíduos sólidos orgânicos.

ABSTRACT

This research disserts about the capacity of biogas production through anaerobic digestion of organic solid waste Iguaçu Waste Management Centre (WMC), as well as its viable use as fuel for the municipal urban bus fleet, therefore indicating two possible scenarios. In the first scenario, considering only in the city of Curitiba - PR, the estimated solid organic waste (SOW) generation is of around 730,000 t per year, and the biogas production of 77,683 m³ per year. In the second scenario, contemplating also the anaerobic biodigestion related to the solid organic waste (SOW) management, through consortium, of the neighboring municipalities Araucária and Fazenda Rio Grande, the annual solid organic waste (SOW) generation potential is of 787,000 t per year, and 87,491 m³ of biogas production. This could enable fueling 150 buses every day from Curitiba's current fleet, and avoid greenhouse gases (GHG) emissions higher than 31,000 tCO₂eq per day.

Keywords: biomethane, transportation, organic solid waste, natural gas pipeline.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos Coletados	7
FIGURA 2 - Disposição Final de RSU População Atendida	8
FIGURA 3 - Etapas de Produção de Biogás	10
FIGURA 4 - Principais Etapas de Purificação do Biogás	12
FIGURA 5 - Participação do Diesel no Custo da Tarifa Técnica	26
FIGURA 6 - Estação de Abastecimento com Biometano para Ônibus Urbano	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Estimativa da Composição Gravimétrica do - RSU no Brasil	6
TABELA 2 - Geração de Biogás Através de Projeções Populacionais.....	8
TABELA 3 - Especificações Para o Uso do Biometano Para Veículos	11
TABELA 4 - Emissões Evitadas de tCO ₂ eq Utilizando o Biometano	14
TABELA 5 - Modal Convencional Operando com Diesel	27
TABELA 6- Valores com a Frota Operando com Diesel.....	27
TABELA 7 - Modal Convencional Operando com Biometano	28
TABELA 8 - Economia Anual da Frota de Ônibus Operando com Biometano	28
TABELA 9 - Potencial da Frota Calculada Utilizando o Biometano	30
TABELA 10 - Panorama das Emissões de CO ₂ para Cenário 1	30
TABELA 11 - Potencial Estimado de Produção de Biogás para o Consorcio.	31
TABELA 12 - Panorama das Emissões de CO ₂ para o Cenário 2	32
TABELA 13 - Cálculo Para o Direito de Emissão de CBIO em tCO ₂ eq.	34

LISTA DE SIGLAS

C (dm ³)	- Consumo de combustível durante a vida Útil
CH ₄	- Gás Metano
CO ₂	- Dióxido de carbono
CO ₂ eq	- Dióxido de carbono equivalente
COVs	- Organo clorados voláteis
D2	- Distância diária percorrida por ônibus
ECH ₄	- Emissões de metano
ECO ₂	- Emissão de dióxido de carbono
F	- Fração de metano no biogás (f)
FEMISS	- Fator de emissão de Carbono (femiss)
FCH ₄	- Produção diária de metano em aterros
FCONV	- Fator de conversão
FCORR	- Fator de correção de PCS para PCI
GTCO ₂ eq	- Bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
LHVd -	- PCI do diesel
LHVg	- PCI do biogás
m ²	- Metro quadrado
m ³	- Metro cúbico
MJ	- Megajoule
MTCO ₂ eq	- Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
MTEP	- Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
N	- Ano de referência (n)
OX	- Fator de oxidação (ox)
P	- População
PAS	- Pressure Swing Adsorption
PCI	- Poder calorífico inferior
PCS	- Poder calorífico superior
Pd	- Preço do diesel
Pf	- População estimada
Pi	- População atua
QC	- Conteúdo de carbono
R	- Quantidade de metano recuperado

IR	- Quantidade de metano recuperado
RSDf	- Fração de Resíduos Sólidos Domésticos depositada em locais de Disposição
t	- Tonelada
tCO ₂ eq	- Tonelada de Dióxido de Carbono
TWh	- Tera Watt-hora
VU	- Vida útil do veículo
VDd	- Consumo médio de diesel
VGd	- Consumo médio de biogas
VOCs	- Volatile organic compounds
W	- Watt

LISTA DE SIMBOLOS

- η_D (%): - Eficiência do motor de ignição por compressão (ZIVANOWIC, 2015);
- η_G (%):- - Eficiência do motor de ignição por centelha (ZIVANOWIC, 2015).

LISTA DE ABREVIATURAS

ANP	- Agência Nacional do Petróleo
APD	- Ajuda Pública ao Desenvolvimento
ASMOC	- Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC)
ERCBA	- Escritório Regional de Curitiba
BRT	- Bus Rapid Transit, ou Transporte Rápido por Ônibus
C	- Carbono
CA	- Consumo de combustível
CBIOS	- Crédito de descarbonização
CC	- Consumo de energia (TJ)
CEGÁS	- Companhia de Gás Natural do Ceará
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIBiogás	- O Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás
CIC	- Cidade Industrial de Curitiba-PR
City Gate	- Ponto de entrega
CM	- Consumo médio
CNPE	- Conselho Nacional de Política Energética
COD	- Carbono orgânico degradável
CODf	- Fração de carbono que realmente degrada
COMPAGÁS	- Companhia Paranaense de Gás
CONFAZ	- Conselho Nacional de Política Fazendária
COP 21	- 21ª Conferência das Partes
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CTGÁS-ER	- Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis
CT	- Custo total por veículo
CTT	- Corte transbordo e transporte
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
ERCBA	- Escritório Regional de Curitiba
EE	- Emissões Evitadas
GASBOL	- Gasoduto de Transporte Bolívia-Brasil
GÁSPETRO	- Petrobrás Gás
GD	- Geração distribuída
GEE	- Gases do efeito estufa

GNL	- Gás natural liquefeito
GNR	- Gás natural renovável
GNV	- Gás natural veicular
GNC	- Gás natural comprimido
GRO	- Geração de resíduos orgânicos
GWP	- Global warming potential
GP	- Geração per capita de resíduos
H	- Hidrogênio
HC	- Hidrocarbonetos
H ₂ S	- Ácido sulfídrico
I	- Taxa de crescimento populacional considerada
IAPAR	- Instituto Ambiental do Paraná
ICMS	- Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços
IEA	- Agência Internacional de Energia
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
IPPUC	- Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
MCT	- Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
MMCA	- Milímetros por coluna d'água
MME	- Ministério Minas e Energia
MP	- Material Particulado
NDC	- Contribuição nacionalmente determinada
NH ₃	- Amoníaco
N ₂ O	- Óxido Nitroso
NTS	- Nova transportadora do Sudeste
ONU	- Organizações das Nações Unidas
ONU	- Organizações das Nações Unidas
ONUDI	- Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
PES/PTFE	- Polietersulfona (PES) e cobertura de politetrafluoretileno (PTFE)
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAN	- Resolução Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis
RENOVABIO	- Política Nacional de Biocombustíveis
RMC	- Região Metropolitana de Curitiba

RSD	- Taxa de Geração de Resíduos Sólidos Domésticos
RSO	- Resíduos Sólidos Orgânicos
RSU	- Resíduos sólidos Urbanos
SEAB	- Sec. Estadual de Agricultura e Abastecimento Curitiba-Pr.
SENAI	- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SIMA	- Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente
SISNAMA	- Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	- Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	- Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TAG	- Transportadora Associada de Gás S.A.
TECPAR	- Instituto Tecnologia do Paraná
TGB	- Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil
TRANSPETRO	- Petrobrás Transporte S.A.
TSB	- Transportadora Sulbrasileira de Gás
UFRJ	- Universidade Federal do Rio de Janeiro
UPGN	- Unidade de Produção de Gás Natural
UNESCO	- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e Cultura
UNFCCC	- Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
URBS	- Urbanização de Curitiba

Sumario

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	4
2.2 SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL	5
2.3 SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CURITIBA	7
2.4 ATERRO SANITÁRIO	8
2.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA E AERÓBIA	9
2.6 BIOMETANO.....	10
2.7 PROCESSOS UTILIZADOS NO REFINO DO BIOGÁS	11
2.8 INFRAESTRUTURA DUTOVIÁRIA DE GN NO PARANÁ	13
2.9 VIABILIDADE PARA INJETAR O BIOMETANO NA REDE DE GN	13
2.10 EMISSÕES EVITADAS DE CO ₂	13
2.11 BIOMETANO NO TRANSPORTE COLETIVO DE CURITIBA	15
2.12 O BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA E COMBUSTÍVEL	16
2.13 A CEGÁS-CE DISTRIBUINDO O BIOMETANO	17
3 METODOLOGIA.....	18
3.1 LOCAL DE ESTUDO	19
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL DOS RSUs.....	19
3.3 CENÁRIOS DE PRODUÇÃO DE RSU EM CURITIBA	19
3.4 POPULAÇÃO DE CURITIBA	20
3.5 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO	20

3.6 GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS (DIAS ET. AL, 2012) ...	20
3.7 PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE RSU.....	21
3.8 CÁLCULO DA FROTA DE ÔNIBUS E CONSUMO	22
3.8.1 Consumo de combustível durante a vida útil do ônibus	22
3.8.2 Cálculo do custo do diesel por veículo, VU	22
3.8.3 Custo total para frota dos ônibus urbanos	22
3.8.4 Consumo do ônibus abastecido com biometano	23
3.8.5 Frota hipotética dos ônibus com biometano gerado no aterro sanitário	23
3.9 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES METODO TOP-DOWN	24
3.9.1 Consumo de Energia	24
3.9.2 Conteúdo de Carbono	24
3.9.3 Emissões de CO ₂	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 ASPECTOS ECONÔMICOS.....	26
4.2 CENÁRIO Nº 1	29
4.3 CENÁRIO Nº 2.....	30
5 CBIOs CRÉDITOS DE DESCARBONIZAÇÃO POR BIOCOMBUSTÍVEIS	32
5.1 CARACTERÍSTICAS	32
5.2 UNIDADE PADRÃO DO CBIO COMO TONELADA DE CO ₂ eq.....	33
5.3 EMISSÃO DO CBIOs PELO PRODUTOR DE BIOCOMBUSTÍVEL	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
7 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A Compagás, buscando desenvolver novos mercados de aplicação do Gás Natural, está realizando um estudo completo para o setor de transporte público sobre os impactos financeiros com a inserção do Gás Natural como fonte de transição de combustível de baixa emissão de poluentes para Curitiba e Região Metropolitana. O projeto e a operação de aterros para extração e utilização de biogás requerem previsões de emissão para garantir a viabilidade econômica do empreendimento e sua conformidade ambiental. Nos primeiros projetos MDL no Brasil, ocorreu significativa superestimação da quantidade de biogás gerada nos aterros sanitários, uma vez que não foram adequadamente considerados vários fatores que influenciam na quantidade e qualidade do biogás, como a composição e idade dos resíduos, o projeto e a forma de operação do aterro e o clima da região.

A estimativa da quantidade de biogás gerada no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR) pode ser feita com auxílio de modelos de previsão de ordem zero, primeira ordem ou modelos multifásicos. A maioria dos projetos aplica modelos de primeira ordem, que assumem emissão de metano exponencialmente decrescente com o tempo.

Contudo, o biocombustível também apresenta condições para ser associado à produção de energia elétrica. A estimativa do potencial de produção no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR) é de 8,6 MWh. Ou, poderia ser adotado como substituto para 75 milhões de litros de diesel ao ano.

A possibilidade de aproveitamento do biogás para obtenção de biometano, transforma um passivo ambiental em um ativo econômico que atende às expectativas de desenvolvimento sustentável e produção. O biometano após as etapas de purificação do biogás resulta um combustível gasoso com elevado teor de metano (CH_4) em sua composição, que reúne características que o torna intercambiável com o gás natural em todas as suas aplicações, até mesmo a sua injeção em redes de distribuição de gás natural (KOORNNEEF et al., 2013).

Logo, para melhorar a qualidade do ar dos centros urbanos, é possível substituir o óleo diesel por formas de energia limpa, como o biometano e outras misturas (ANSTROM; COLLIER, 2016). Uma utilidade viável dessas misturas é substituir ônibus urbanos pesados que operam a diesel por modais que operem a biometano (PARK et al., 2017). NA indústria de modais pesados a Scania

comprometeu-se em disponibilizar um veículo para o transporte urbano de Curitiba-PR com um leiaute ideal para avaliação operacional, para que assim a Urbanização de Curitiba (URBS) possa elaborar um relatório fidedigno ao sistema de transporte coletivo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização do biometano, em substituição às demais alternativas de combustível, já proporciona uma redução significativa nas emissões atmosféricas, proporcionando uma melhoria na qualidade do ar da região e diminuição da pressão sobre as infraestruturas viária, a injeção do biometano no sistema de distribuição de gás canalizado o torna intercambiável não alterando os padrões do GN.

Do ponto de vista de diversificação da matriz energética, o uso de biometano é uma alternativa de abastecimento sustentável sob o ponto de vista ambiental, que atende tanto as indústrias, como também as residências e comércios. O biometano pode desempenhar um destacado papel na produção de energia (aquecimento, resfriamento, transporte, eletricidade), em função de ter possibilidades de:

- a) Complementar com os combustíveis fósseis para gerar calor;
- b) Complementar com o biometano para abastecer veículos como automóveis, caminhões e ônibus, principalmente os empregados em frotas dedicadas de transportes de pessoas e cargas;
- c) Descentralizar a energia: A produção de biometano a partir do biogás oferece uma oportunidade para a descentralização e democratização da geração de energia. As comunidades rurais e remotas que não estão conectadas às redes de eletricidade e gasodutos podem ser capacitadas para produzir biogás e biometano a partir dos resíduos agropecuários;
- d) O processo da digestão anaeróbia, pode produzir biogás atender às necessidades básicas ou de pico, em conjunto com outras tecnologias de produção de energia;
- e) No final do processo da biodigestão há o biofertilizante líquido de alto valor para substituição de fertilizantes químicos que são importados para as lavouras agrícolas, cujos retornos podem ser somados às expectativas de retorno econômico do processo;

- f) O desenvolvimento do biogás como fonte renovável de energia elétrica, térmica e veicular interessa ao desenvolvimento do Paraná porque estabelece uma cadeia de suprimentos constituída desde a indústria fabricante de componentes, como biodigestores, motogeradores, caldeiras, veículos leves e pesados, o comércio especializado que os revende, os técnicos planejadores, assistentes técnicos, encarregados de manutenção e outros grandes, médios e pequenos empreendedores, que aquecem e sustentam as economias locais com os resultados dos seus trabalhos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi analisar a eficiência de captação de biogás no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu e fazer uma análise comparativa da capacidade de cogeração de energia elétrica para cogeração de biometano.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Estimar o potencial de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos no Centro de Gerenciamento de Resíduos – Iguaçu (CGR) utilizando as projeções populacionais, através da metodologia utilizada pelo IBGE (2016);
- b) Planejar energeticamente o abastecimento da atual frota de ônibus da cidade de Curitiba-PR, através do aproveitamento do biogás gerado no Centro de gerenciamento de resíduos (CGR);
- c) Estimar as emissões evitadas de gases de efeito estufa (GEE com a substituição do diesel por biometano;
- d) Verificar atual situação da infraestrutura dutoviária de GN de Curitiba-PR;
- e) Viabilidade para injetar o Biometano na Rede de GN.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A especificação do biometano oriundo de produtos e resíduos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular o (GNV) está no Art 1º da RANP 8 de 30 janeiro de 2015.

As regras que estabelece o controle da qualidade e aprovação do uso do biometano oriundo de aterros sanitário e estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular, residenciais, industriais e comerciais está norteado pela RANP 685 de 26 de junho de 2017

Com o objetivo de criar metas nacionais e anuais de descarbonização para o setor de combustíveis e de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transporte do país o programa RENOVABIO através da lei 13.576 de 26 de dezembro de 2017 esta contribuindo para o cumprimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), através da Lei Federal nº 12.305/2010, (Brasil C. S., 2010) integrou estados e municípios ao setor produtivo e a sociedade na busca de soluções para os problemas relativos à gestão dos resíduos sólidos. Surgindo o conceito de responsabilidade compartilhada, responsabilizando a sociedade pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, objetivando a prevenção e redução na geração de resíduos, a reutilização, o tratamento e a disposição adequada.

A PNRS, Lei nº 12.305 de 2010, (Brasil C. S., 2010) define resíduos sólidos como sendo:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, no estado sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou

economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível. (Art. 3º item XVI).

E, ainda, define destinação final ambientalmente adequada como:

Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (Art. 3º item VII).

Segundo a NBR 10.004:2004, (ABNT, 2004) são considerados resíduos sólidos aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exigem para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Destaca-se que todos os resíduos, mesmo que líquidos ou pastosos, são caracterizados como resíduos sólidos.

2.2 SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

A Lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico – Lei 11.445/2007 (Brasil C. S., 2007) estabelece que a prestação dos serviços terá a sustentabilidade econômico-financeira assegurada e, sob os aspectos técnicos, atenderá a requisitos que garantam a qualidade adequada. Por sua vez, a Lei que institui a política nacional de resíduos sólidos – Lei 12.305/2010 (Brasil C. S., 2010)– estabelece a obrigatoriedade da coleta seletiva e determina que apenas os rejeitos

devem ser encaminhados a aterros sanitários (regra que ficou conhecida no país como o “fim dos lixões”). Tais elementos reforçam o grande desafio, enfrentado pelo Brasil, de ampliar os níveis de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos. O Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab –, aprovado em dezembro de 2013, com um horizonte de 20 anos, destaca que um dos princípios fundamentais da política de saneamento diz respeito à matriz tecnológica que orienta o planejamento e a política setorial. Segundo o Plansab, planejar o saneamento básico no país, com um olhar de longo prazo, necessariamente envolve a prospecção dos rumos tecnológicos que o setor pode e deve trilhar. Cabe à política de saneamento básico identificar tendências, nacionais e internacionais, segundo as quais a matriz tecnológica do saneamento vem se moldando, o que supõe também procurar enxergar novos conceitos, ainda que sejam antigas formulações em novas roupagens, ou novos desafios que pressionam no sentido de mudanças paradigmáticas. Neste sentido, temas como a sustentabilidade, a gestão integrada das águas urbanas¹, o saneamento ecológico e o combate às mudanças climáticas globais podem ser evocados como exemplos.

A composição dos resíduos sólidos de um determinado sítio varia em função de diferentes razões, ou seja, conforme o número de habitantes do município, o nível educacional da população, o poder aquisitivo e o nível de renda familiar, os hábitos e costumes da população, as condições climáticas e sazonais e a industrialização de alimentos (VIEIRA et al, 2000). A (Tabela 1) apresenta a composição característica dos RSU no Brasil:

TABELA 1 - Estimativa da Composição Gravimétrica do - RSU no Brasil

MATERIAIS	PARTICIPAÇÃO %
Matéria Orgânica	51
Plástico	14
Papel, papelão e tetrapak	13
Metais	3
Vidro	2
Outros	17

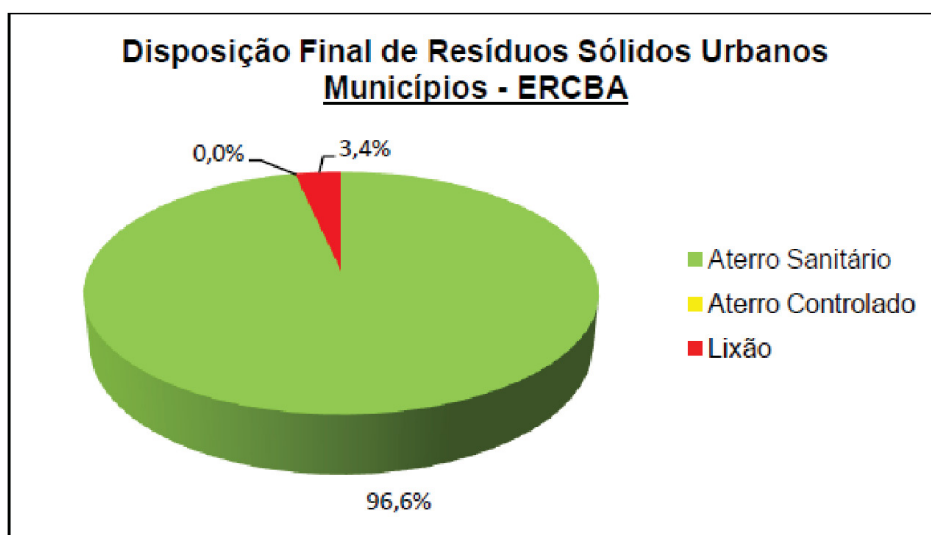
¹ A gestão integrada tem como base a ideia de que a água é um recurso finito e seu uso é interdependente. Por isso, essa prática promove o desenvolvimento coordenado dos recursos hídricos com o intuito de maximizar seu uso sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas.

FONTE: Abrelp (2016).

2.3 SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CURITIBA

O Instituto Ambiental do Paraná (2017) no Relatório da Situação da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Paraná mostra que composição dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba-PR e dos municípios do Escritório Regional de Curitiba - ERCBA, que 96,6% destinam seus RSU em área(s) de aterro sanitário devidamente licenciada(s), conforme (Figura 1).

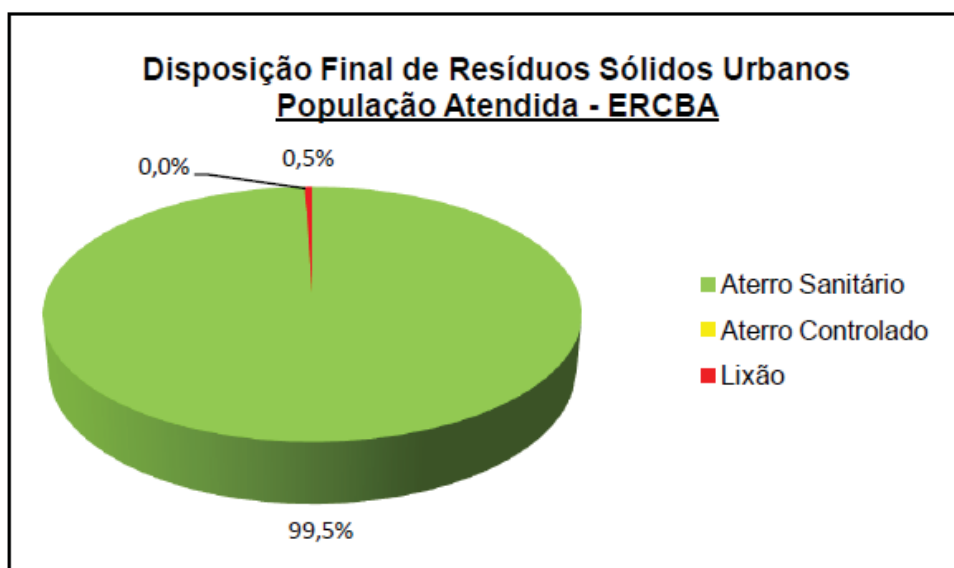
FIGURA 1 - Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos Coletados



FONTE: IAP – Instituto Ambiental do Paraná (2017).

Pode-se ainda afirmar que 99,5% da população do ERCBA destina os RSU em área(s) de aterro sanitário, devidamente licenciada(s), ou seja, aproximadamente 99,5% dos RSU gerados nos municípios de abrangência do ERCBA são destinados em conformidade com a legislação ambiental. O gráfico a seguir Figura 2 apresenta os dados de destinação final com base na população atendida.

FIGURA 2 - Disposição Final de RSU População Atendida



FONTE: IAP – Instituto Ambiental do Paraná (2017).

Para a pesquisa do Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu, foi adotada uma produção per capita média de lixo de 1,09 kg/hab/dia. A (Tabela 2) mostra o potencial de geração de biogás através de projeções populacionais conforme parâmetros demográficos calculados com base IBGE (2016).

TABELA 2 - Geração de Biogás Através de Projeções Populacionais

Ano	População	Índice per capita Kg / hab / dia	GRSU t por dia	Produção de Biogás m³ por dia
2010	1.851.907	1,09	1.918	74.420
2019	1.933.105	1,09	2.002	77.683
2029	2.181.900	1,09	2.259	87.681
2039	2.694.300	1,09	2.790	108.272

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019)

2.4 ATERRO SANITÁRIO

Todo projeto de aterro sanitário deve respeitar as diretrizes preconizadas pela ABNT, sendo considerado uma das técnicas mais eficiente para o tratamento

adequado de resíduos. A NBR 8.419 (ABNT A. , 1992), define aterros sanitários como:

Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário. (1992, p. 62).

Conforme exposto por Boscov (2008), os aterros sanitários evitam a poluição ambiental e representam uma situação mais favorável do ponto de vista sanitário em relação às outras formas de disposição, por restringir o acesso de catadores, a proliferação de vetores, poluição do ar, água e o espalhamento do material no entorno, quando gerenciados de forma eficiente.

Quanto aos índices de disposição final de RSU 95% do montante anual é disposto em aterros sanitários. Unidades de aterros controlados e lixões ainda estão presentes em todas regiões do país e receberam, no ano de 2017, mais de 71,6 milhões toneladas de resíduos (ABRELPE, 2017).

2.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA E AERÓBIA

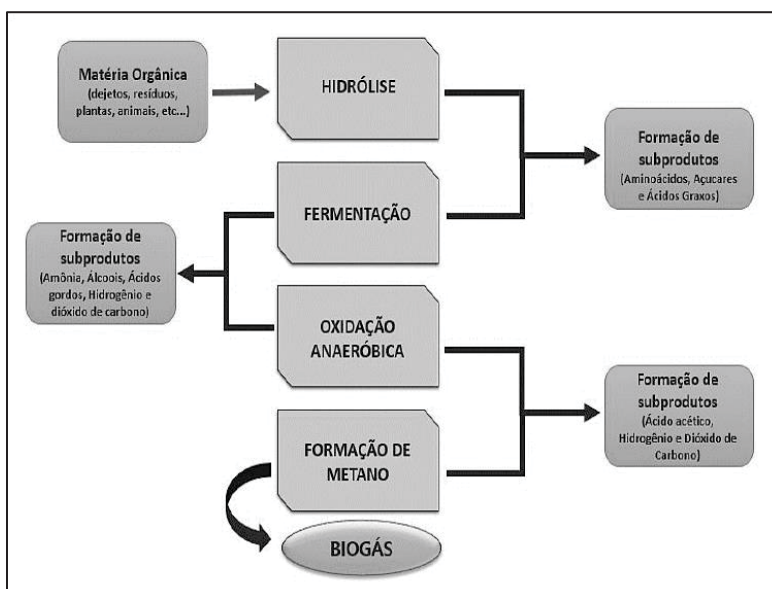
Os resíduos orgânicos podem ser tratados biologicamente de forma aeróbia ou anaeróbia. Na digestão aeróbia o oxigênio presente nos espaços vazios dos resíduos, juntamente com o oxigênio dissolvido nos resíduos, quando associado à umidade, acelera a decomposição, gerando dióxido de carbono, água e calor. Nessa fase a composição do gás será de 100% de CO₂ .

A digestão anaeróbia é um processo de degradação da matéria orgânica, na ausência de oxigênio livre, produzindo, assim, um composto formado majoritariamente por metano (55 a 70%) e dióxido de carbono (30 a 45%), contendo ainda pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e siloxanos (compostos de sílica). Desta forma, devido a presença do hidrocarboneto metano, o biogás, é um gás altamente energético. (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008). O rendimento e a velocidade da digestão anaeróbia dependem de três

grupos de fatores: os relativos às características do reator, às características do resíduo a ser digerido e à forma de operação do reator. (Souza, Marcos E. 1984). Vários produtos intermediários são continuamente gerados e imediatamente processados, havendo a necessidade dos vários estágios ocorrerem na mesma velocidade a fim de evitar distúrbios, isso também pode ocorrer se não houver monitoramento de variáveis importantes para o controle da digestão anaeróbia como, por exemplo, temperatura, pH, nutrientes, taxa de carregamento orgânico e produção de metano por microrganismos (RAJESHWARI et al., 2000).

O processo anaeróbico passa necessariamente por quatro fases a nível bacteriano, sendo elas hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e metanogênese, na qual a geração do biogás ocorre na última etapa do processo. A (Figura 3) representa o conjunto dos processos bioquímicos envolvidos na formação do biogás.

FIGURA 3 - Etapas de Produção de Biogás



FONTE: <https://www.ecycle.com.br/2972-biogas>

2.6 BIOMETANO

O biometano (gás com qualidade equivalente à do gás natural) é proveniente do biogás purificado e pode ser utilizado como biometano puro ou misturado com gás natural, que reúne características que o torna intercambiável

com o gás natural em todas as suas aplicações ou passível de ser transportado na forma de gás comprimido por meio de caminhão-feixe (gasoduto virtual). A qualidade do biometano é regulamentada por meio da Resolução RANP nº 8/2015 (Brasil A. , 2015) e da Resolução RANP nº 685/2017 (Brasil A.-A. B., 2017). A primeira, trata da especificação do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV); a outra, trata da especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. A qualidade do Biometano final, após a sua purificação, tem as suas características muito próximas às do GNV. A comercialização do biometano como combustível para veículos não exige mais infraestruturas que a injeção para a rede de gás natural. Os requisitos para a utilização do biogás com combustível para veículos são recomendados pela norma ISO/DIS 15403 (ABNT A. , ISO 15.403: 2006, 2006) e encontram-se resumidos na (Tabela 3).

TABELA 3 - Especificações Para o Uso do Biometano Para Veículos

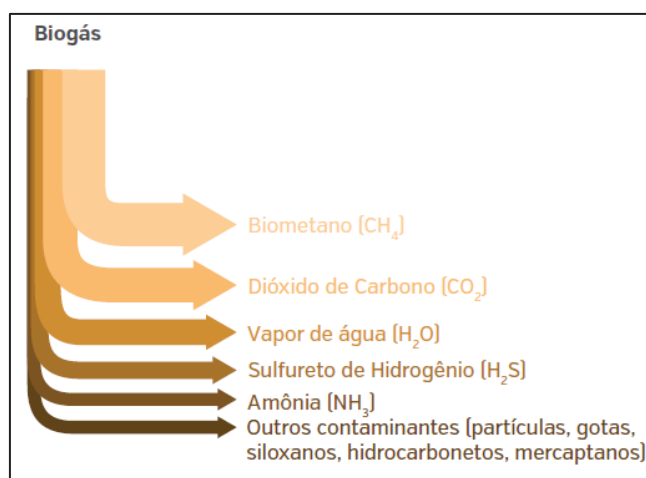
PARAMETRO	ISO/DIS 15403-2006
Índice de Wobbe (kWh/m ³)	N / a
Metano (%volume)	> 96
Número de metano	N / a
Oxigênio (%volume)	< 0,5
Dióxido de Carbono (%volume)	< 3
CO ₂ + O ₂ + N ₂ (%volume)	N / a
H ₂ S (mg / m ³)	< 5
H ₂ O (mg / m ³)	N / a

FONTE: ISO 15403-1 (2006).

2.7 PROCESSOS UTILIZADOS NO REFINO DO BIOGÁS

Ao purificar o biogás as principais etapas são a separação de gases e a secagem. A (Figura 4) exhibe um esquema simplificado dos processos necessários, e que estão descritos mais detalhadamente a seguir.

FIGURA 4 - Principais Etapas de Purificação do Biogás



FONTE: Probiogás (2016).

- A) Lavagem com água ou polietileno glicol (Pressurized Water Scrubbing – PWS) é utilizada para remoção de vapor d'água, CO_2 , H_2S e siloxanos (compostos de sílica) do biogás considerando-se que estes gases são mais solúveis em água que o metano. Este processo é puramente físico.
- B) Absorção química com solventes, é caracterizada por uma absorção física dos componentes gasosos o CO_2 , H_2S e siloxanos (compostos de sílica) num líquido de lavagem e os componentes do gás absorvidos na fase líquida.
- C) Pressure Swing Adsorption – PSA, o processo PSA é uma tecnologia usada para separação de gases como CO_2 , H_2S e siloxanos (compostos de sílica) sob pressão de acordo com as suas características moleculares e afinidade por um determinado tipo de material.
- D) Processo de tratamento com membranas, o princípio da separação por membrana baseia-se no fenômeno da retenção de alguns componentes de um gás numa membrana permeável e na passagem livre de outros através dela.
- E) Separação Criogênica, o processo de separação criogênica é baseado no fato do CO_2 e H_2S e de outros contaminantes do biogás poderem ser separados do metano por diferenças nos pontos de liquefação de cada elemento.

2.8 INFRAESTRUTURA DUTOVIÁRIA DE GN NO PARANÁ

A Compagas é a concessionária responsável pela distribuição de gás natural canalizado no Estado do Paraná, cuja concessão foi outorgada em 06/07/1994. É uma empresa de economia mista, tendo como acionistas a Companhia Paranaense de Energia - Copel, com 51% das ações, a Petrobras Gás S.A. - Gaspetro, com 24,5% e a Mitsui Gás e Energia do Brasil Ltda., com 24,5%. Ao longo dos anos, a companhia foi gradativamente ampliando a sua rede de gás natural que em 2019 acumulou 833 km de extensão (Compagas, 2019), visando o atendimento de todo o estado. Para tanto, a empresa realiza continuamente investimentos em obras de expansão da rede e da infraestrutura subjacente. Atende atualmente 37.750 clientes de 17 municípios entre clientes do segmento residencial, comercial, veicular e industrial. Entre os municípios atendidos estão: Curitiba, Araucária, São José dos Pinhais, Campo Largo, Palmeira, Ponta Grossa, Colombo, São Mateus do Sul, Pinhais.

2.9 VIABILIDADE PARA INJETAR O BIOMETANO NA REDE DE GN

Na Resolução ANP Nº 8, DE 30.1.2015, (Brasil A. , 2015), no art. 5º, estabelece que se o Biometano atender à especificação estabelecida no Regulamento Técnico, parte integrante desta Resolução, poderá ser misturado ao gás natural. Se o biogás for utilizado como gás de intercâmbio, a sua injeção não é problemática tendo apenas que se ter cuidado com a pressão de injeção na rede (superior a 20 bar) (Monteiro, 2011) . A injeção do biometano nos diferentes níveis da rede de distribuição exige que ele esteja a uma pressão ligeiramente superior à da rede. A injeção do biogás tratado pode se dar em diferentes tipos de redes e com diferentes níveis de pressão. A Companhia de Gás do Ceará -CE é a primeira distribuidora do Brasil a injetar o gás natural renovável (GNR) em sua rede de gasodutos.

2.10 EMISSÕES EVITADAS DE CO₂

O aquecimento global provocado pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) representa atualmente um dos grandes desafios do mundo. Um objetivo

importante nesse contexto é a redução desses gases decorrentes do uso de combustíveis fósseis. Uma solução para esse problema pode ser o uso de combustíveis renováveis, como o biogás e biometano, que provocam a redução de emissões de GEE e da poluição do ar. Na (Tabela 4) mostra o total de emissões em tCO₂eq evitadas caso 1229 ônibus da atual frota do transporte coletivo fosse substituída pelo biometano.

TABELA 4 - Emissões Evitadas de tCO₂eq Utilizando o Biometano

Ano	Quantidade de ônibus	tCO₂eq evitadas diariamente	tCO₂eq evitadas anualmente
2019	1229	39.029	14.245.570
2039	1229	58.550	21.371.000

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019).

Um dos maiores emissores de CO₂ do mundo é o setor de transportes. Com o uso de vetores energéticos alternativos como biometano, biodiesel e etanol, podem ser reduzidas muitas emissões de gases de efeito estufa nessa área. Em comparação com outros biocombustíveis, o biometano apresenta uma alta eficiência de superfície (rentabilidade energética por hectare de área cultivada) e pode ser produzido a partir de uma série de substratos como resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais e agrícolas, bem como a partir de plantios cultivados para tal finalidade. O biometano tratado é uma das opções mais eficientes para uma mobilidade de baixos impactos climáticos.

No processo de produção agrícola e agropecuária são também geradas emissões de GEE indesejadas com a operação de máquinas agrícolas ou no aquecimento de granjas. Por exemplo, o setor agrícola na Alemanha em 2011 respondeu por 7,7% desses gases de efeito estufa. A pecuária, e respectivamente o armazenamento de excrementos e estrume liberam metano, óxido nitroso e amoníaco. Especialmente as emissões de metano e de óxido nitroso têm um papel importante devido aos seus altos impactos para o clima (GWP). O CH₄ (metano) tem um impacto nas mudanças climáticas 21 vezes maior do que dióxido de carbono, o N₂O (óxido nitroso) é 310 vezes. O uso de excrementos animais (estrume) em usinas de biogás não somente produz biometano, mas também evita a liberação de grandes quantidades de gases de efeito estufa. Essa prática é

particularmente incentivada na Alemanha para reduzir as emissões de metano e criar incentivos para a expansão da produção de biogás.

2.11 BIOMETANO NO TRANSPORTE COLETIVO DE CURITIBA

Os ônibus são o principal modo de transporte coletivo utilizado nas cidades brasileiras tendo toda a sua cadeia de produção e serviços consolidada no país. A produção da indústria instalada no Brasil abastece o mercado nacional e é exportada para diversos países; uma vasta rede de prestadores de serviços espalhada por todo o território nacional garante abastecimento, manutenção e suporte técnico para uma frota que, segundo o Sistema de Informações de Mobilidade Urbana da ANTP, soma mais de 110 mil veículos, apenas no transporte urbano e metropolitano nas cidades com mais de 60 mil habitantes, (ANTP – Caderno vol. 15) (ANTP A.) e os processos de operação e manutenção dessa frota são amplamente dominados pelos operadores sob quaisquer condições climáticas e de infraestrutura. Entretanto, salvo poucas exceções, toda esta frota é movida a diesel, combustível derivado de petróleo, não renovável e com forte participação nas emissões de poluentes locais e de efeito estufa. Assim, apesar do nível de emissões dos ônibus, por passageiro transportado, ser muito inferior ao dos veículos de transporte individual, a eficiência energética e ambiental dos sistemas de transporte público poderia ser ainda muito mais positiva com um aumento da utilização de fontes alternativas de energia limpa.

A Scania anunciou acordo de parceria com a prefeitura de Curitiba (PR) e a Viação Cidade Sorriso para testes com ônibus movido a gás ou biometano no sistema de transporte público municipal. A operação terá apoio da Compagas, Companhia Paranaense de Gás, no fornecimento de GNV (Gás Natural Veicular), e, posteriormente, de um centro de reciclagem de resíduos para produção de biometano. Pelas contas da Scania, em comparação com um ônibus similar a diesel, o veículo a gás emite 85% menos gases poluentes se abastecido com BIOMETANO, 70% menos se movido a GNV, além de ser menos ruídos e proporcionar redução de até 28% no custo operacional por quilômetro rodado. No papel declarado de ser líder na transformação para um transporte sustentável, a Scania tem obtido sucesso com sua oferta de ônibus movidos a GNV. Segundo a empresa administradora do transporte Coletivo de Curitiba, URBS, informou que

operou no sistema entre os dias 21/03 a 12/04/2019, porém apresentou alguns problemas relacionados a bilhetagem e a vazamento de gás, além da falha na programação de abastecimento no primeiro final de semana de operação. Assim o tempo efetivo de operação regular na linha foi apenas de 8 (oito) dias, portanto, pouco tempo para uma amostra estatística que pudesse balizar uma análise técnica concreta. Neste contexto, o presente trabalho objetivou estimar o potencial de geração de biogás do município de Curitiba-Pr, aplicando a equação de decaimento de primeira ordem do IPCC, com base nos dados locais. Esta seção contempla a descrição metodológica utilizada ao longo da pesquisa para o setor de transporte público municipal. O trabalho foi elaborado a partir das informações contidas na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB 2008). Alguns dados foram ainda retirados de relatórios da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, de diferentes órgãos setoriais, bem como do Ministério de Minas e Energias (MME). Cabe destacar que o universo pesquisado nessas bases é diferente e a metodologia parte de objetivos distintos, gerando ao final, informações por vezes desconstruídas.

Outro aspecto positivo do uso de biometano como combustível é que as plantas de biogás e as instalações de tratamento de resíduos bem como os postos de abastecimento de biometano nas regiões rurais podem garantir um abastecimento de combustível descentralizado. Para manter a consistência entre as fontes de informação, o ano de 2009 foi escolhido como referência.

2.12 O BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA E COMBUSTÍVEL

A Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás) tem se empenhado em mostrar o elevado potencial do país para a produção de energia e combustível a partir de resíduos, tanto da agricultura quanto de aterros, além de efluentes sanitários (esgoto) e dejetos resultantes da criação de animais em abatedouros e laticínios. O biogás e o biometano seriam as estrelas desse modelo.

Uma pesquisa feita pela ABiogás identificou que o país desperdiça por ano mais de uma Itaipu e meia em energia que poderia ser obtida com biogás. Hoje, o país deixa de gerar 115 mil gigawatts-hora de energia com o não aproveitamento dos rejeitos urbanos, da pecuária e da agroindústria. Esse volume poderia ter abastecido quase 25% de toda energia elétrica consumida em 2015, aliviando a

pressão sobre o setor. Outra equivalência energética é que o biometano - extraído da purificação do biogás - poderia chegar a uma produção anual de 28,5 bilhões m³. Isso equivale a 50% do consumo de diesel do país e poderia alimentar quase 25% da frota nacional de veículos, combinando a gestão adequada dos diversos resíduos com emissão negativa de dióxido de carbono. Aos poucos, o cenário começa a mudar: de 2015 para 2016, o biogás cresceu 30% na matriz elétrica brasileira e foi inaugurada a maior termelétrica a biogás da América Latina, instalada no aterro sanitário de Caieiras (SP).

Diversos países possuem formas de aproveitamento muito interessantes. A Alemanha foi o primeiro case de importância mundial - o país possuía uma política de subsídios que acabou no ano passado e, com isso, as plantas de biogás estão migrando para o mercado livre, de forma madura e eficiente. Na Suécia, há a produção de biogás a partir de efluentes sanitários para uso como combustível no transporte público. A Áustria e a França também possuem políticas muito eficazes. Outro modelo emblemático vem da Califórnia, nos Estados Unidos, com um programa bem consolidado de uso de biometano como combustível, com larga aplicação em locomotivas, caminhões e ônibus.

2.13 A CEGÁS-CE DISTRIBUINDO O BIOMETANO

A participação de biogás no total de gás natural distribuído pela Companhia de Gás do Ceará (Cegás) passará de 15% para 17%. A companhia demanda, em média, 80 mil Nm³/dia de gás natural, com um investimento da ordem de R\$ 23 milhões, de acordo com dados do Ministério de Minas e Energia. O gasoduto foi construído em Poliamida 12 e é considerado o maior do mundo com o uso deste material. Nesta obra são utilizados um tipo de tubo em material plástico poliamida que visam eliminar o custo com proteção catódica e permitir o fluxo do gás a elevadas pressões, uma vez que o traçado definido para esse gasoduto será coincidente com linhas de distribuição de energia de alta-tensão, localizadas às margens da rodovia, onde as tubulações serão assentadas. A CEGÁS está trabalhando na distribuição de biometano (Gás Natural Renovável) gerado a partir de resíduos sólidos no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia - ASMOC. O Gasoduto que tem a extensão de 23 Km de extensão, da Estação de Transferência e a Planta de Produção de Gás Natural Renovável, os empreendimentos realizados

por meio da parceria entre a CEGÁS, Prefeitura de Fortaleza e a Gás Natural Renovável Fortaleza. O gás é produzido pela Gás Natural Renovável Fortaleza, numa planta da unidade de captação e tratamento instalada no ASMOC. Desde maio do ano passado, a CEGÁS tornou-se a primeira distribuidora do Brasil a injetar na sua rede de gasodutos o GNR (Gás Natural Renovável) da Região Metropolitana de Fortaleza, o GNR já está sendo entregue a todos os clientes residenciais, comerciais, industriais e veiculares. Inicialmente, toda a produção foi destinada à Cerbras, indústria do setor de cerâmicas, que foi a primeira do Brasil a ter sua produção abastecida com gás natural renovável canalizado. Atualmente, a Cegás injeta cerca de 75 mil Nm³/dia de gás natural renovável na sua rede de abastecimento. Pelo contrato com a GNR Fortaleza, essa produção de biogás deve passar para 150 mil Nm³/dia. Existe um projeto de expansão que será possível viabilizar uma nova expansão para 125 mil m³/dia. Com a expansão, cerca de 15% do gás distribuído pela CEGÁS será de GNR. Atualmente, é de cerca de 13%. O uso do gás natural renovável pela CEGÁS revelou-se como uma experiência competitiva e sustentável, com impactos positivos em toda a cadeia produtiva do gás natural com isso houve uma ampliação da segurança de suprimento e competitividade no preço, pelo aumento no número de fornecedores de Gás Natural. Há entre outras oportunidades de aproveitamento de biogás no Ceará, com escalas e modelos de negócios distintos a serem explorados com segurança em algumas regiões metropolitanas do Estado, como Sobral, Cariri e Limoeiro do Norte.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho objetivou estimar o potencial de geração de biogás no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu, aplicando a equação de decomposição de primeira ordem do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas utilizando a metodologia Top-Down(1996), com base nos dados locais e fazer uma análise comparativa da capacidade de cogeração de energia elétrica para cogeração de biometano. Esta seção contempla a descrição metodológica utilizada ao longo da pesquisa para o setor de transporte público municipal sabendo-se que o ônibus selecionado seria um modal considerado convencional para toda a frota, com o mesmo motor, carroceria, pneus e outros componentes pertinentes aos demais modais.

3.1 LOCAL DE ESTUDO

Nosso objeto de estudo, foi o Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR), que fica localizado no município da Fazenda Rio grande, na AV. Nossa Senhora Aparecida, 3188 no bairro Santa Terezinha, CEP 83829-308 a 23 km do centro de Curitiba-Pr.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL DOS RSUs

Trata-se de estudo exploratório, de caráter quantitativo, fundamentado em pesquisa bibliográfica complementada por entrevistas não estruturadas realizadas junto a profissionais das áreas relacionadas produção, refino de biogás, armazenamento e transporte do biometano. A caracterização da produção de RSU na cidade foi feita através da análise do histórico de dados relativos à geração e à composição do biogás baseado no estudo de caracterização gravimétrica realizado por Tavares (2007). A pesquisa bibliográfica, realizada junto à rede mundial, internet, revistas e livros especializados disponíveis nas bibliotecas da Universidade Federal do Paraná, Eco Energia do Brasil Biogás, IBGE e COMPAGÁS®.

3.3 CENÁRIOS DE PRODUÇÃO DE RSU EM CURITIBA

Para a construção dos cenários futuros, considerou-se que o fator crítico, ou seja, o principal parâmetro que podem influenciar a produção de resíduos sólidos urbanos em uma cidade, em termos de quantidade e composição foi a população.

A capacidade de produção de Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) no aterro CGR Iguaçu é de 900 mil ton ano, com uma produção de Biogás 77.683 m³/dia, a capacidade dos Motogeradores para cogeração de energia elétrica hoje é de 8,6 MWh e o aterro CGR Iguaçu não produz biogas para uso de energia veicular.

A projeção dos cenários da produção de RSU em Curitiba foi baseada na associação dos fatores críticos com a produção de resíduos sólidos, a partir da tendência histórica desses parâmetros. Para análise do estudo de caso, foram utilizados os seguintes métodos de análises:

3.4 POPULAÇÃO DE CURITIBA

A tendência histórica da população de Curitiba foi analisada a partir do histórico do crescimento populacional. Os dados históricos foram publicados pelo Instituto de Pesquisa Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), e são provenientes de contagens populacionais, censos demográficos e estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES).

3.5 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO

As projeções populacionais, incorporam os parâmetros demográficos calculados com base no Censo Demográfico IBGE (2016), considerando a taxa de crescimento populacional mais atual. Através da metodologia utilizada pelo IBGE, a população foi estimada para os próximos 20 anos.

$$Pf = Pi(1 + i)^n$$

Equação (I)

Em que:

Pf (habitantes): população estimada;

Pi (habitantes): população atual;

I (%): taxa de crescimento populacional considerada (IBGE, 2016);

n: ano de referência.

3.6 GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS (DIAS ET. AL, 2012)

$$GRO = Gp * P * \%R$$

Equação (II)

Em que:

GRO (kg/dia): geração de resíduos orgânicos;

Gp (kg/hab/dia): geração per capita de resíduos = 1,09 (ABELPRE,2019);

P (habitantes): população;

%R: porcentagem de resíduos orgânicos = 95%

3.7 PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE RSU

A modelagem matemática possibilita estimar o potencial de geração de biogás no aterro a partir da massa de resíduos depositada, prevendo, também, emissões de gases de efeito estufa, tal estimativa torna possível o dimensionamento de sistemas de coleta de biogás a serem implantadas no aterro (MACHADO et al., 2009). Em comparação aos métodos de campo, os modelos teóricos geram resultados rápidos com custos baixos (ABRELPE, 2017). Para aferir a produção local de biogás, o método empregado baseou-se na metodologia recomendada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (1996), na Equação (III), cuja abordagem implica na determinação do potencial de geração de biometano, a partir do teor de carbono orgânico degradável dos resíduos. No caso de resíduos sólidos urbanos, através da informação de diferentes tipos dos resíduos que compõem a massa do aterro, é feita a estimativa. Para esta metodologia são necessários dados estatísticos de população e sobre a composição dos resíduos sólidos urbanos (IPCC, 2006).

$$E_{CH_4} = \left[P * RSD_f * (F_{CM} * COD_f * F) * \left(\frac{16}{12} - R \right) * (1 - OX) \right]$$

Equação (III)

Em que:

E_{CH_4} (t./ano): Emissões de CH_4 ;

P: População Urbana;

RSD (hab / ano) : Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos = 1,09

RSDf: Fração de resíduos sólidos domésticos que é depositada em locais de disposição = 0,6 (ABRELPE, 2017);

FCM: Fator de correção de metano = 1 (adimensional) (IPCC, 2006);

COD (fração) = $0,4A + 0,17B + 0,15C + 0,30D$, sendo A: papel e têxteis; B: poda de jardins e parques; C: resíduos alimentares e D: madeira ou palha;

CODf: Fração de COD que realmente degrada = 0,77 (adimensional) (IPCC, 2006);

F: Fração de CH_4 no gás de aterro = 0,4 (IPCC, 1996);

16/12: Taxa de conversão de carbono em metano = 1,33;

R: Quantidade de metano recuperado (valor desprezível);

OX: Fator de oxidação (valor desprezível).

3.8 CÁLCULO DA FROTA DE ÔNIBUS E CONSUMO

Um fator muito importante de ser calculado, quando se trata de custos, é o consumo de combustível dos veículos. O conhecimento sobre tal aspecto permite que os órgãos administradores possam analisar possíveis mudanças que reduzam estes gastos, gerando diversos impactos na estratégia e logística do negócio.

3.8.1 Consumo de combustível durante a vida útil do ônibus

$$C = \frac{K_{my} * VU}{CM}$$

Equação (IV)

Em que:

C (m³): Consumo de combustível durante a vida útil;

(km / ano): Distância coberta por um ônibus convencional por ano (considerando que valor mínimo percorrido em municípios brasileiros é de 245 km, e que o veículo opere os 365 dias do ano) = 89.425 km (NTU, 2008);

VU (anos): Vida útil do veículo = 10,16 (SINDIPEÇAS E ABIPEÇAS, 2018);

CM (m³ / Km): Consumo médio = 1,45 (CUNHA, 2015).

3.8.2 Cálculo do custo do diesel por veículo, VU

$$CV = C * P_d$$

Equação (V)

Em que:

CV (R\$): Custo do diesel por veículo ao longo da vida útil;

C (Consumo): litros de diesel por dia

PD (R\$. L-1): Preço do diesel = R\$ 3,390 (ANP, 2019).

3.8.3 Custo total para frota dos ônibus urbanos

$$CT = CV * F_m$$

Equação (VI)

Em que:

CT (R\$): Custo total por veículo;

CV (R\$): Custo total por veículo diesel

Fm: Frota municipal (URBS 2019).

3.8.4 Consumo do ônibus abastecido com biometano

$$V_{G,d} = V_{D,d} \frac{LHV_d * \eta_D}{LHV_G \eta_G}$$

Equação (VII)

Em que:

VD,d (m³ / km): consumo médio de diesel (SANTARELLI, 2004);

VG,d (m³ / km): consumo médio de biogás;

LHVd (MJ / m³): poder calorífico inferior do diesel (ANTP, 2013);

LHVg (MJ / m³): poder calorífico inferior do biogás (CTGAS);

ηD (%): eficiência do motor de ignição por compressão (ZIVANOWIC, 2015);

ηG (%): eficiência do motor de ignição por centelha (ZIVANOWIC, 2015).

3.8.5 Frota hipotética dos ônibus com biometano gerado no aterro sanitário

$$FS = \frac{FCH_4}{V_{G,d} * D_2}$$

Equação (VIII)

Em que: FS: Frota potencial;

FCH₄ (m³ / dia): Produção diária de metano em aterros;

D₂ (km / dia): distância diária percorrida por ônibus;

VGd (m³ / km): consumo médio de CH₄ pelo motor do ônibus.

3.9 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES METODO TOP-DOWN²

Desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o método “Top-Down” (IPCC 2016) recomendada pelo Ministério de Minas e Energia no Balanço Energético Nacional – BEN (1999). Esta metodologia estima o total de CO₂ obtido através do consumo de determinado volume, tendo como item para cálculo os dados de produção e consumo de energia (MATTOS, 2001).

3.9.1 Consumo de Energia

$$CC = CA * F_{conv} * Tep * F_{corr}$$

Equação (IX)

Em que:

CC (TJ): consumo de energia;

CA (L): consumo de combustível;

Fconv: fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tonelada equivalente de petróleo, com base no poder calorífico superior do combustível. (Diesel: 0,848 tep/m³) (MCT, 2006);

Tep: tonelada eq. de petróleo (1 tep:0,041868TJ)

Fcorr: fator de correção de PCS (poder calorífico superior) para PCI (poder calorífico inferior). Para combustíveis sólidos e líquidos (Fcorr: 0,95) e para combustíveis gasosos (Fcorr: 0,90) (MCT, 2006).

3.9.2 Conteúdo de Carbono

$$QC = CC * F_{emiss}$$

Equação (X)

Em que:

QC: Conteúdo de carbono expresso, em tC (tonelada de carbono);

CC: Consumo de energia, em TJ;

² A descrição do método “top-down” foi extraída da tese de mestrado “A importância do setor de transporte na emissão de GEE – o caso do Município do Rio de Janeiro” defendida em 2001 por Laura Bedeschi de Mattos da UFRJ – COPPE.

Femiss: fator de emissão de carbono, em tC / TJ. (Diesel: 20,2 tC / TJ) (IPCC, 1997).

3.9.3 Emissões de CO₂

Por fim, calculam-se, as emissões em tCO₂. Sabendo-se que o peso molecular do Carbono é 12 e do Oxigênio é 16, o peso molecular do dióxido de carbono (CO₂) é 44. Logo, a conversão entre pesos moleculares (44 tCO₂ corresponde a 12 tC ou 1 t de CO₂ = 0,2727 tC, conforme a Equação (11).

$$ECO_2 = QC * \frac{44}{12}$$

Equação(XI)

Em que:

ECO₂: Emissão de CO₂;

QC: Conteúdo de carbono;

Fator de conversão = 44/12.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método apresentado neste trabalho é uma estimativa do potencial estimado de produção de biogás no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu. Através dos resultados obtidos ficou fácil identificar que após o biogas ser tratado pode ser utilizado como combustível de intercambio para o transporte Coletivo, hoje a participação dos combustíveis na composição da tarifa técnica é de 15,87%.

FIGURA 5 - Participação do Diesel no Custo da Tarifa Técnica



FONTE: Urbanização de Curitiba – URBS (2019)

Para difundir o biometano como combustível, é necessário considerar a rentabilidade total da cadeia de valor agregado desde a geração do biogás passando pelo seu tratamento até a distribuição do biometano através de redes de gás e postos de abastecimento. Desta forma, foram propostos dois cenários:

Cenário nº 1: Utilização do biometano gerado através de RSO, do Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu, exclusivamente do município de Curitiba-Pr, para abastecimento de uma frota hipotética composta de 1229 ônibus, conforme o modal escolhido para pesquisa .

Cenário nº 2: Gerenciamento consorciado dos RSO, do Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu, de Curitiba-PR e mais dois municípios da região metropolitana, Araucária e Fazenda Rio Grande, para produção de biometano e abastecimento de uma frota hipotética composta de 1229 ônibus, conforme o modal escolhido para pesquisa.

4.1 ASPECTOS ECONÔMICOS

Em primeiro plano, na (Tabela 3) é relevante observar os aspectos econômicos relacionados ao estudo atual. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP (2019), o preço do diesel na bomba no Paraná foi avaliado R\$ 3,390. Considerando a autonomia de um ônibus equivalente a 1,45 km (CUNHA, 2015) e sua quilometragem média diária percorrida sendo 245 km (NTU, 2017) e supondo que o ônibus convencional escolhido para a

pesquisa opere 365 dias do ano seria equivalente a 89.425 Km por ano (NTU, 2008) o consumo diário de combustível para este veículo é de 169 litros de diesel por dia. Pode-se constatar que cada ônibus gasta mais 61 mil litros de diesel por ano. E, ao calcular na Equação (VII) esse valor para a totalidade de sua vida útil, cada ônibus gastaria, aproximadamente, 610 mil litros de diesel.

TABELA 5 - Modal Convencional Operando com Diesel

Autonomia do ônibus	Preço do Diesel	Km rodado por dia	Consumo de Combustível por Ônibus	Consumo anual de combustível por Ônibus
Km / l	R\$	Km / dia	l / dia	l / ano
1,45	3,39	245	169	61.604

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019).

Por meio dos valores obtidos fica evidente o quão oneroso é essa circunstância, principalmente porque a distribuição de custos nas empresas prestadoras, de serviços de transporte público, predominantemente, está voltada ao pagamento do óleo diesel (Figura 5) e de funcionários. Por consequência, não há investimento na melhoria da frota. Para o município de Curitiba-Pr, onde considerou-se uma frota potencial de 1.229 ônibus urbanos convencionais escolhidos para a pesquisa, na (Tabela 6) constatou-se que, diariamente, cada veículo gasta cerca de R\$ 572,16 reais com combustível diesel. Ao término de um ano o valor ultrapassa a R\$ 208 mil reais. O custo anual total da frota circulante abastecida com o mesmo combustível seria superior a R\$ 256 milhões.

TABELA 6- Valores com a Frota Operando com Diesel

Frota Atual	Custo diário por ônibus	Custo anual por ônibus	Custo anual da frota
QTDE	R\$	R\$	R\$
1229	572,16	208.838,96	256.663.083

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019).

Em contrapartida, se o preço de venda do biometano circulasse na faixa do metro cúbico (m³) a R\$ 2,81, cujo o valor é praticado atualmente na bomba no Ceará-CE, considerando a autonomia de um ônibus abastecido com biometano equivalente a 2,11 km e sua quilometragem média diária percorrida sendo 245 km

(NTU, 2017), (Tabela 7) e supondo que o ônibus convencional escolhido para a pesquisa opere 365 dias do ano seria equivalente a 89.425 Km por ano (NTU, 2008) o consumo diário de combustível para este veículo é de 116 m³ de biometano por dia. Pode-se constatar que cada ônibus gasta um pouco mais 42 mil m³ de biometano por ano. E, ao calcular na Equação (VII) esse valor para a totalidade de sua vida útil, cada ônibus abastecido com biometano gastaria, aproximadamente, 420 mil m³.

TABELA 7 - Modal Convencional Operando com Biometano

Autonomia do ônibus	Preço do biometano	Km rodado por dia	Consumo de combustível do ônibus	Consumo anual de combustível por ônibus
Km / m ³	R\$	Km / dia	m ³ / dia	m ³ / ano
2,11	2,81	245	116	42.355

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019)

Mantendo o consumo de 2,11 Km por m³ de biometano a frota de ônibus convencionais escolhida para a pesquisa gastaria aproximadamente por ano R\$ 146.202.761 e quando comparada ao dispêndio da frota convencional escolhido para pesquisa abastecida com diesel, se vê claramente uma economia anual em mais de R\$ 100 milhões, sem considerar taxas de inflação (Tabela 8).

TABELA 8 - Economia Anual da Frota de Ônibus Operando com Biometano

Frota Atual	Custo da Frota operando com Biometano	Custo da Frota operando com Diesel	Economia gerada se abastecida com biometano
QDTE	R\$	R\$	R\$
1229	146.202.761	246.663.083	100.460.322

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019)

Segundo Silva (2006), o consumo de combustível considerado para um ônibus operando com biometano é de 2,28 km por m³, próximo aos 2,5 Km por litro dos ônibus a diesel, sendo respeitados dados operacionais do motor, assim como, condições de tráfego, velocidade média, temperatura do motor etc. Através do

resultado obtido com a Equação (VII), a autonomia de um ônibus abastecido com biometano seria de 2,11 m³ por km. No entanto, a Probiogás (2016) considera que 6 m³ por km de biometano são suficientes para superar mais de 100 km de distância. O biometano funciona como combustível em veículos da mesma maneira que o GNV (Figura 6). Por esse motivo, sua utilização é uma alternativa pertinente, já que motores a combustão e de propulsão híbridos podem ser acionados com biocombustíveis.

FIGURA 6 - Estação de Abastecimento com Biometano para Ônibus Urbano



FONTE: AutomotiveBusiness.com.br.

4.2 CENÁRIO Nº 1

Mediante o proposto no Cenário nº 1, para município de Curitiba-Pr o biometano produzido no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR) conseguiria abastecer uma frota potencial de 150 ônibus por dia utilizando o biometano, considerando os valores para o ano de 2019 e conforme as especificações técnicas do modal diariamente a partir do biometano gerado na (Tabela 7) e evitar que 4,763 tCO₂eq sejam despejadas na atmosfera diariamente.

No primeiro momento, esses valores não parecem muito atraentes do ponto de vista econômico, mas quando se trata de aspectos ambientais abre-se uma nova perspectiva alinhada as preocupações atuais relacionadas às emissões atmosféricas.

TABELA 9 - Potencial da Frota Calculada Utilizando o Biometano

ANO	Cenário	Frota Potencial Calculada	Emissões Evitadas em tCO₂eq diariamente
2019	1	150	4.763

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019).

Um ônibus com o combustível diesel emite diariamente, 422 tCO₂eq para a atmosfera, atestada pela Equação (XI). Mensurando a frota urbana para 1229 ônibus do município de Curitiba-Pr, o valor chega a mais de 518 mil tCO₂eq por dia. A situação é agravada pelo fato de, além de serem os combustíveis mais consumidos, estes apresentam maiores de taxas de emissão por metro cúbico.

Na (Tabela 10) apresento um panorama das emissões em tCO₂eq evitadas caso a frota de ônibus do transporte coletivo de Curitiba-PR fosse totalmente substituída pelo combustível biometano sabendo que 85% de GEE.

TABELA 10 - Panorama das Emissões de CO₂ para Cenário 1

FROTA	Emissões anuais de CO₂eq - Frota Diesel	Emissões anuais de CO₂eq – Frota Biometano	Emissões Evitadas anual numa eventual substituição do Combustível
1229	189.309	1.724	187.585

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019)

Portanto, a redução da emissão de dióxido de carbono é uma estratégia eficaz para desacelerar o aquecimento global nas próximas décadas.

4.3 CENÁRIO Nº 2

A partir da estimativa da população, procedeu-se os cálculos para geração de resíduos orgânicos de cada município Curitiba-Pr, Araucária-Pr e Fazenda Rio Grande-Pr, considerando um crescimento constante. A taxa de geração per capita utilizada foi de 1,09, respeitando dados da (Abrelpe 2017) para os municípios

estudados da região RMC. A geração de resíduos sólidos orgânicos correspondente ao ano de 2019 Curitiba e região metropolitana escolhidas seria de aproximadamente 2.268 t por dia, produzindo um total de 87.491 mil m³ de biogás por dia. Esse valor, em 20 anos, saltaria para aproximadamente 3.065 t por dia, de RSO resultando em uma produção de biometano aproximada de 118.430 mil m³ de biogás por dia. A (Tabela 11) mostra o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos para cada município estudado, assim como a população geradora do biogás para o ano de 2019 e 2039:

TABELA 11 - Potencial Estimado de Produção de Biogás para o Consorcio.

Ano	Municípios	População	GRO kg / hab / dia	GRO t / dia	Produção de Biogás m³ por dia
2019	Curitiba	1.933.105	1,09	2.002	77.683
2039		2.694.300		2.790	108.272
2019	Araucaria	143.843	1,09	157	5.780
2039		148.980		162	5.987
2019	Fazenda Rio Grande	100.209	1,09	109	4.027
2039		103.787		113	4.171

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019).

A lei nº 11.107/2005, (Brasil C. S., 2007) dispõe sobre a contratação de consórcios públicos, e o Decreto 6.017/2007 regulamenta a estrutura legal para adoção do consórcio público intermunicipal, para atender o objetivo de prestação de serviço público de destinação final dos RSU. Vaz (1997 apud IBGE, 2005) cita o aumento de serviços públicos ofertados à população e o aumento do poder de negociação dos municípios na resolução de impasses locais, e no caso de municípios menores, essa vantagem apresenta maior relevância. Mediante esforços entre os municípios consorciados, pode-se obter uma prestação de serviços de forma adequada, principalmente no que se diz respeito a uma gestão técnica eficiente. Ainda, conforme a (Tabela 11), observa-se que o potencial energético dos RSOs se concentra em municípios com maior número de habitantes em sua área urbana. A parcela de produção dos municípios fronteiriços é baixa, já que os

municípios são de pequeno porte. Por meio de um gerenciamento consorciado de RSOs é possível atingir a eficiência na gestão de resíduos sólidos, visto que a ação conjunta entre os municípios pode assegurar ganhos ambientais e econômicos na provisão desses serviços públicos. Assim sendo, como mostra a (Tabela 12), o consórcio abasteceria uma frota potencial diária de 118 ônibus em 2019 chegando, em 20 anos, a abastecer 157 ônibus.

Ainda no segundo cenário, quando a frota urbana à diesel calculada e é substituída por 118 ônibus (2019) que operam à biometano, a emissão de 22.711 milhões tCO₂eq poderiam ser evitadas anualmente. Por apresentar baixas emissões de GEE (85%), o uso de biometano em ônibus ao longo de toda cadeia de suprimento é uma das melhores opções como combustível renovável no transporte, contribuindo para as metas de energia renovável no setor (SCARLAT; DALLEMAND; FAHL, 2018).

TABELA 12 - Panorama das Emissões de CO₂ para o Cenário 2

Ano	Frota	Emissões anuais de CO₂eq - Frota Diesel	Emissões anuais de CO₂eq – Frota Biometano	Emissões Evitadas numa eventual substituição do Combustível
2019	118	23.173.280	461.931	22.711.349
2039	157	48.721.820	461.931	48.259.890

FONTE: Gilberto M Azevedo (2019).

5 CBIOs CRÉDITOS DE DESCARBONIZAÇÃO POR BIOCOMBUSTÍVEIS

5.1 CARACTERÍSTICAS

O CBIO um instrumento financeiro, registrado sob a forma escritural, para fins de comprovação da meta individual do distribuidor de combustíveis instituído pela Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017. A definição da quantidade de Créditos de Descarbonização a serem emitidos considerará o volume de biocombustível, produzido ou importado e comercializado pelo emissor primário, observada a respectiva Nota de Eficiência Energético-Ambiental constante do Certificado da

Produção Eficiente de Biocombustíveis do emissor primário. Informações sobre o emissor primário serão trazidas adiante neste documento. A Nota de Eficiência Energético Ambiental consiste em uma nota atribuída a cada emissor primário em função da diferença entre a intensidade de carbono de seu combustível fóssil substituto e sua intensidade de carbono estabelecida no processo de certificação, ou seja, quanto mais eficiente for o processo produtivo do emissor primário.

5.2 UNIDADE PADRÃO DO CBIO COMO TONELADA DE CO₂eq

A Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017, contempla a base para que a regulamentação possa estabelecer que o CBIO tenha como unidade padrão uma tonelada de CO₂e. Trata-se de um ponto importante para que possa haver, no futuro, fungibilidade e intercambialidade com outros setores econômicos, como por exemplo a indústria do petróleo e a indústria automobilística, caso esses passem a adotar estratégias similares para valorizar, por mecanismos de crédito de descarbonização, a eficiência com menores emissões. Além disso, a atemporalidade da meta contribui para essa fungibilidade. Ou seja, deve-se considerar que a unidade padrão não seja alterada no tempo, não mude com recertificação da produção de biocombustíveis e não mude com entrada de novos produtores.

Na regulamentação, para fixar a unidade padrão, o primeiro passo será definir a linha de base de intensidade de carbono dos produtos fósseis padrão (intensidade de carbono da gasolina, do diesel, do querosene, do gás natural e assim por diante). Assim como a identificação dos biocombustíveis substitutos padrões desses fósseis. Por exemplo, etanol hidratado como substituto da gasolina, biodiesel do óleo diesel e bioquerosene do querosene. O segundo passo seria aplicar a calculadora RenovaCal de análise de ciclo de vida (objeto da certificação) para a unidade de produção específica de biocombustíveis. O resultado da calculadora irá indicar o conteúdo energético do biocombustível em questão, por emissão, em termos de gCO₂e/MJ, para a usina específica. A Nota da Certificação será dada, então, pela diferença entre a linha de base do fóssil substituto e o resultado da calculadora. Deve haver previsão para que, em algum momento, a análise de ciclo de vida dos combustíveis fósseis seja incorporada na definição da linha de base. Incorporando a ACV dos combustíveis fósseis, a eficiência dos

biocombustíveis seria ainda mais valorizada além de promover também a valorização do combustível produzido no mercado nacional.

De maneira hipotética, a seguir apresento esquematicamente a forma de cálculo da Nota de Certificação e, em sequência, a nota específica para uma unidade produtora:

Exemplo hipotético de cálculo da Nota de Certificação da CGR Iguaçu.

[Linha de base fóssil – Intensidade de Carbono]

Equação (XII)

Em que:

Linha de base fóssil biogás = 10

Intensidade de carbono biometano de biogás de aterro sanitário = 7,44

Nota hipotética de certificação = 2,6 em gCO₂ / MJ

Considerando-se que, nesse exemplo hipotético, que a quantidade vendida de biogás no CGR Iguaçu é de 77.683 m³ por dia e o volume anual de produção de biogás no CGR Iguaçu seria de 28.354.295 m³.

Como sua nota hipotética de certificação é 2,6 e o volume diário é vendido em litros seria de 77.683.000 litros vendidos. O fator de conversão (MJ / l) é 7,44 então a energia vendida por ano em MJ seria de 210.955.955 MJ (Tabela 12).

TABELA 13 - Cálculo Para o Direito de Emissão de CBIO em tCO₂eq.

CGR Iguaçu	Nota Certificação (g/CO₂eq/MJ)	Volume Vendido (litros) ano	Fator de Conversão (MJ / Litro)	Energia Vendida (MJ)	Direito de Emissão de CBIO
1	[a] 2,6	[b] 28.354.295	[c] 7,44	[d]=b * C 210.955.955	[e]=a * d 548

FONTE: Gilberto M. Azevedo (2019).

5.3 EMISSÃO DO CBIOs PELO PRODUTOR DE BIOCOMBUSTÍVEL

A Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017, contempla que o produtor de biocombustíveis, ou seu equivalente no fornecimento de produto importado (importador), seja o emissor primário de Créditos de Descarbonização será

efetuada, sob a forma escritural, em quantidade proporcional ao volume de biocombustível produzido (ou importado) e necessariamente comercializado, nos termos a serem definidos em regulamento. Isso implica que:

- I. Primeiramente, o biocombustível deve ter sido produzido ou importado;
- II. Depois disso, o biocombustível precisará ser comercializado no mercado interno (ex: com um distribuidor de combustíveis);
- III. Ou seja, o direito ao CBIO (um instrumento financeiro) surge vinculado com a efetiva produção e comercialização física do biocombustível;
- IV. A partir dessa comercialização, a emissão da Nota Fiscal assegura ao produtor/importador o direito de solicitar, em até sessenta dias, a emissão dos CBIOs em seu nome.

Uma das funções do Comitê RENOVABIO, definidas no decreto, é monitorar a oferta, demanda e os preços do CBIO. O resultado desse monitoramento auxiliará, no ciclo seguinte, a definição e ajustes da meta e dos cenários. Hoje o valor do preço de carbono é considerado U\$ 10 por tonelada.

Sendo assim, o valor fictício na bolsa (B3) dos CBIOS da CGR Iguaçu estaria sendo negociado por U\$ 5.400 ou R\$ 28.730,51.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cálculos demonstraram que o biogás gerado no Centro de Gerenciamento de Resíduos Iguaçu (CGR), em 2019, através da degradação anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Curitiba-PR, possui em média um potencial de 77.683 m³ por dia biogás.

A frota diesel do transporte público urbano do município de Curitiba-PR emite, 518.669 tCO₂eq por dia para atmosfera. Numa eventual troca do combustível para o biometano teríamos 85% a menos de gases de efeito estufa (GEE) emitindo 4.725 tCO₂eq por dia para atmosfera.

Por meio do potencial de biogás estimado no cenário 1 há possibilidade de 150 ônibus urbanos serem abastecidos com biometano diariamente.

No cenário nº 2 apontou que, através do gerenciamento consorciado dos resíduos sólidos urbanos entre Curitiba, Araucária e Fazenda Rio Grande, há possibilidade de abastecer 118 ônibus urbanos serem abastecidos com biometano diariamente .

A vantagem é que esses municípios circunvizinhos se encontram a no máximo 23 km de distância, reduzindo o dispêndio com o transporte de resíduos. A produção de energia através do biogás, aproveitando resíduos sólidos orgânicos como matéria-prima, é fundamental para a redução de impactos negativos ao ambiente e da potencialização do aquecimento global.

7 CONCLUSÃO

Os cálculos demonstram que a produção de biogás gerado hoje no aterro sanitário CGR Iguaçu (2019), poderia abastecer 150 ônibus com Biometano/GNV diariamente evitando ainda que 31.500 tCO₂eq. fossem despejados na atmosfera diariamente.

Deste modo é oportuno sugerir que o governo do Estado do Paraná melhore as políticas públicas de incentivo para geração de biogás através de RSU para garantir a população a inclusão de novos modelos econômicos verdes para melhorar a qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. Associação Brasileira de Biogás. **Referência em Biogás no Brasil**. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/en/>>. Acesso em 15.dez.2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004:2004. Esta Norma **classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente**. ABNT, 30.nov.2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8.419:1992 Versão corrigida 1996. Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de **projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/Panorama/>> Acesso em: 27.out. 2019.

AFD. Agência Francesa de Desenvolvimento (2019). **A Ajuda ao Desenvolvimento**. Disponível em: <<https://www.afd.fr/pt/ajuda-ao-desenvolvimento>>. Acesso em 10.dez.2019.

ALMEIDA, R. N.; PEDROTTI, A.; BITENCOURT, D. V.; SANTOS, L. C. P. **A problemática dos resíduos Sólidos Urbanos**. Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente. Aracaju. v.2, n.1, p. 25 - 36, 2013.

ANSTROM, J.; COLLIER, K. Hydrogen Energy Conversion - A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. **Compendium of Hydrogen Energy**. v 3. p. 219–32, 2016.

ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos. **Poder calorífico Inferior do Diesel**, 2013.

BIOMASSA-BR. **Biomassa contida nos Resíduos Sólidos Urbanos**. Revista Brasileira de Biomassa e Energia, v. 20, p. 44, 2015.

BLEY Jr., Cícero. Biogás: A Energia Invisível, [prefácio de Leonardo Boff] – 2ª ed. re (Costa, 2018) v. e ampliada; São Paulo, Planeta sustentável, CIBiogás e Itaipu 100 anos atualidades regulatórias no mercado de gás brasileiro – Rio de Janeiro: Editora Sinergia, (2018).

BOSCOV, M.E.G. Geotecnia Ambiental. São Paulo, 2008: Oficina de Textos.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. (2019). Energias Renováveis no Brasil, PROINFA, (2015). Programa de incentivo às fontes Renováveis. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/proinfa>>. Acesso em 03.set.2019

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Sistema de Levantamento de preços, 2018**. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/pre%C3%A7o>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2019). PAN 98-2001, **Determina a elaboração do Manual do Concurso Aberto pelos transportadores, detalhando os procedimentos de oferta e alocação de capacidade para o serviço de transporte firme decorrente da expansão de suas instalações de transporte de gás natural**. Disponível em < <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/portarias-anp/tecnicas/2001/junho&item=panp-98--2001>>. Acesso em 03.set.2019.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2019). **Biocombustíveis**. Disponível em:<<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/renovabio,%2004/09/2019>>, Acesso em 03.set.2019.

BRASIL. Decreto federal nº 6.017, de 17 de janeiro de 2007. Regulamenta a lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. **Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 13, p. 1-4, 18 de janeiro de 2007.

BRASIL. Decreto nº 7.382 de 2 de dezembro de 2010, **Regulamenta os Capítulos I a VI e VIII da Lei no 11.909, de 4 de março de 2009, que dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural**, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7382.htm>. Acesso em 17.out.2019.

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 18.set.2019.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em 17.dez.2019.

BRASIL. Lei nº 11.909 (Lei do Gás), de 4 de março de 2009, e Decreto nº 7.382, de 2 de dezembro de 2010. **A Lei dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o Art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências**. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/publicacoes/leis-e-decretos/2423-lei-n-11-909-lei-do-gas-de-4-de-marco-de-2009-e-decreto-n-7-382-de-2-de-dezembro-de-2010>>. Acesso em 17.out.2019.

BRASIL. Lei nº 12.490 de 16 de setembro de 2011, altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, **que dispõe sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis**; o § 1º do art. 9º da Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores; as Leis nº 10.336, de 19 de dezembro de 2001, e 12.249, de 11.jun.2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm#art1 > Acesso em 20.out.2019.

BRASIL. Lei nº 9.478 (lei do Petróleo), de 6 de agosto de 1997, **dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9478.htm >. Acesso em 21.out.2019.

BRASIL. Lei nº 9.478 de 6 de agosto de 1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9478.htm>. Acesso em 17.out.2019.

BRASIL. Lei nº Lei Nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11107.htm>. Acesso em 05.fev.2020.

BRASIL. Ministério da Economia, Secretaria de Trabalho – CAGED (2019). **Características do emprego formal: Relação anual de informações sociais**. Brasília, 2017. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/trabalhador-caged> >. Acesso em 06.fev. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2018). **RENOVABIO** apresentações. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>>. Acesso em 06.set.2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2018). **RENOVABIO BIOCOMBUTÍVEIS 2030 – OFICINA BIOGAS E BIOMETANO**. Disponível em < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/4323103/UNICA.pdf/d79a9c7e-a3d1-43ad-94a9-bc8c4ca1e20a>>. Acesso em 01.set.2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2018). **RENOVABIO: Biocombustíveis 2030- Nota técnica: Papel dos Biocombustíveis na Matriz (2017)**. E-book. Disponível em: < <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-155/EPE%20-%20NT2%20%E2%80%93%20SUSTENTABILIDADE%20-%20ARQUIVO%202.pdf> >. Acesso em 01.set.2019.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em <https://www.mma.gov.br/> . Acesso em 30.jan.2020.

BRASIL. Portaria 472 de 05 de agosto de 2015, **estabelece as diretrizes para o processo de Chamada Pública para contratação de capacidade de transporte de gás natural**. Disponível em < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=233672> >. Acesso 12.set.2019.

BRASIL. RANP nº 11, DE 16 de Março de 2016. **Dispões sobre a Oferta de Serviços, Cessão de Capacidade Contratada, Troca Operacional de Gás Natural, Aprovação e Registro dos Contratos de Serviço de Transporte de Gás Natural** - Promoção dos Processos de Chamada Pública para Contratação de Capacidade de Transporte de Gás Natural. Disponível em < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317660> > Acesso em 15.out.2019.

BRASIL. RANP nº 685, de 29 de junho de 2017, **estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional**. Disponível em: < <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2017/junho&item=ranp-685--2017> >. Acesso em 17.out.2019.

BRASIL. RANP nº 791, de 12 de junho de 2019. **Dispõe sobre a individualização das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis, no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)**. Disponível em: < <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2019/junho&item=ranp-791-2019> > Acesso em 21/06/2019.

BRASIL. RANP nº 8, DE 30 de Janeiro de 2015, ART. 5º, **O Biometano que atenda à especificação estabelecida no Regulamento Técnico, parte integrante desta Resolução, poderá ser misturado ao gás natural**. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/janeiro&item=ranp-8--2015>>. Acesso em 17.out.2019.

BRT. **Transporte Rápido por ônibus**. Disponível em < <http://www.brtbrasil.org.br/index.php/brt/oquebrt#.XjsVZWWhKjIU> >. Acesso em 16.jan.2019.

CARVALHO, R. H. C (2011). **Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros**. CBIE. Centro Brasileiro de Infraestrutura (2019). **Quantos quilômetros de dutos temos no Brasil hoje?** Disponível em <<https://cbie.com.br/artigos/quantos-quilometros-de-dutos-temos-no-brasil-hoje/>> acesso em 16.out.2019.

CEGÁS. **Companhia de Gás do Ceará**. Disponível em < <http://www.cegas.com.br/> >Acesso em 18.agosto.2019.

CIBiogás. **Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás** (2019). Disponível em: <<https://cibiogas.org/>> Acesso em 02.jul.2019.

COCAL. Comércio Indústria Canaã e Álcool Ltda (2019). **Energia Responsável**. Disponível em: <<http://www.cocal.com.br/pr/odutos-e-processos/n/>>. Acesso em 06.set.2019.

COMPAGÁS. Companhia Paranaense de Gás, (2019). **Portal da Transparência**. Disponível em:< <http://transparencia.compagas.com.br/pt/>>. Acesso em 20. ago.2019.

COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros, (2018). **Atualidades regulatórias no mercado de gás brasileiro** / Hirdan Katarina de Medeiros, Edmilson Moutinho dos Santos, Silvia Andréa Cupertino. Cap. IV pag. 100, Rio de Janeiro: Edit. Synergia, 2018.

CTGAS-ER. Centro de Tecnologias do Gás & energias Renováveis. **Inspeção de Sistemas de Medição de Gás Natural – Cromatografia e Qualidade do Gás Natural**.

CUNHA, Bruno Scola Lopes da. **Análise da influência do óleo diesel e da gasolina automotiva sobre a inflação nacional 2015**. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2015.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**: An introduction. Wiley-V CH, Weinheim, Germany, 2008.
Diretora de Estudos Regionais e Urbanos – DIRUR. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, n.05, p. 123-139.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética, e, Governo Federal - Ministério de Minas e Energia **RenovaBio: Biocombustíveis 2030 Nota Técnica: Papel dos biocombustíveis na matriz**, 2017. E-book. Disponível Em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/7948692/EPE_NT1_PAPEL+DOS+BIOCOMBUST%C3%8DVEIS.pdf/779d7ffd-4169-4e10-a1a1-9a93184f6209;jsessionid=BC_6_9E6F175F98A700035966D239A65BA.srv154>. Acesso em 01.out.2019.

GASBRASILIANO. **Distribuição de Gás Natural canalizado na região noroeste do Estado de São Paulo**, (2019). Disponível em:< <http://www.gasbrasiliano.com.br/noticias/releases/sao-paulo-recebe-a-primeira-cidade-com-sistema-de-distribuicao-exclusivo-de-biometano-do-brasil-1/>> Acesso em 16.set.2019.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Decreto nº 4695, de 20 de janeiro 1989. **Outorga da Concessão para exploração do serviço de gás canalizado em todo território do Estado do Paraná pela Companhia Paranaense de Energia – Copel**. Disponível em: < <http://leisestaduais.com.br/pr/decreto-n-4695-1989-parana-outorga-da-concessao-para-exploracao-do-servico-de-gas-canalizado-em-todo-territorio-do-estado-do-parana-pela-companhia-paranaense-de-energia-copel>>. Acesso em 17.out.2019.

Governo Estado do Paraná. Lei Complementar Nº 205 - 07 de dezembro de 2017, **dispõe sobre os serviços de distribuição de gás canalizado no Estado do**

Paraná, de que trata o art. 9º da Constituição Estadual e providências pertinentes. Disponível em: <<http://leisestaduais.com.br/pr/lei-complementar-n-205-2017-parana-dispoe-sob-re-os-servicos-de-distribuicao-de-gas-canalizado-no-estado-do-parana-de-que-trata-o-art-9-da-constituicao-estadual-e-providencias-pertinentes>>. Acesso em 17.out. 2019.

Governo Estado do Paraná. Lei Nº 17133 DE 25/04/2012, **institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima.** Disponível em : <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=240832>>. Acesso em 15.jul.2019.

Governo Estado do Paraná. Lei Nº 19500 DE 21/05/2018, **dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano e adota outras providências.** Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=360329>>. Acesso em 15.jul.2019.

HENRIQUES JR., Maurício F. **Novas Tecnologias de Uso do Gás Natural.** In 54a Reunião Anual da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência – SBPC, Goiás, 2002. Anais.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório da Situação da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Paraná 2017.** Disponível em:<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Diagnostico_Disposicao_Final_de_RSU_2017.pdf>. Acesso em 15.nov.2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. **Projeções e estimativas da população do Brasil e das Unidades da Federação.** Disponível em : <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>> Acesso em: 03.set.2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial oficial.** 2010. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 28.out. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico. 2010.** Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/pesquisa/53/49645>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais Trimestrais,** (2017). Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 14.fev.2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da População.** Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 05.fev.2020.

IPARDES. **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.** Disponível em < <http://www.ipardes.pr.gov.br/>>. Acesso em 05.fev.2020.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/publicgl/invs1.html>>. Acesso em 24.out.2019.

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Inventories; **Reference Manual**, v. 3. **International Panel on Climate Change**, (1996).

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**, 2001.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **Solid waste disposal. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, v. 5, p. 1-40, 2006.

ISO. International Organization for Standardization **ISO 15403-1:2006. Gás**

KOORNNEEF, Joris et al. Global Potential for Biomethane Production with Carbon Capture, Transport and Storage up to 2050. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 37, p.6043-6052, 2013. Elsevier BV.

KRAUSE, Gilson G.; PINTO JR., Helder Q. **Estrutura e Regulação do Mercado de Gás Natural**: Experiência Internacional. Notas Técnicas ANP nºs 03/1998 e 04/1998.

LIPSKY, JR.; Abbott B.; SIDAK, J. Gregory. **Essential Facilities**. Stanford, USA: Stanford Law Review, 1999, pp. 1187-1198.

MACHADO, About Gleysson B. Lei 12.305 – **Política Nacional de Resíduos Sólidos. Portal Resíduos Sólidos**. 11 maio 2013a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 27. ago. 2019.

MARTINS, Rafaela Dorigon. **Potencial Energético e Produção de Biometano a partir de resíduos sólidos urbanos e resíduos vitivinícola**. (2018). Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pelotas – RS.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transporte na emissão de gases do efeito estufa – O caso do município do Rio de Janeiro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, 2006.

MELLO, Andriele Rimoldi; GRASSI, Renato. **Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no aterro sanitário do município de Francisco Beltrão** – PR. 2014. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. Brasília, 2011. Disponível em<<http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/inventarionacional20110209.pdf>>. Acesso em: 18.nov.2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei 12.305. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636> >. Acesso em: 18.nov.2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Setor de transporte é o que causa mais impactos na qualidade do ar**. Brasília, 2018. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/informma/item/6191-setor-de-transporte-e-o-que-causa-ais-impactos-na-qualidade-do-ar> >. Acesso em: 18.nov.2019.

MONTEIRO, S.D.S. Produção de Biometano: **Análise de Mercado e estudo da Separação por PSA**, (2011) f. 31. Tese (de Mestrado - Química). Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial, Departamento de Engenharia Química – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69219/1/000150475.pdf>>. Acesso em 04.set.2019.

MOUTINHO DOS SANTOS, E.; FAGA, M.; GALBIERI, R.; BRITO, F.L.T.; SIMOES, A. **Revisão do Conceito de Transporte Sustentável e Promoção do GNV na Estratégia de Substituição do Óleo Diesel no Transporte Urbano**. COMGÁS. São Paulo, 2013.

NADALETI, Willian César et al. **Efficiency and pollutant emissions of an SI engine using biogas-hydrogen fuel blends: BIO60, BIO95, H20BIO60 and H20BIO95**. International Journal Of Hydrogen Energy, [s.l.], v. 43, n. 14, p.7190-7200, abr. 2018. Elsevier BV.

NADALETI, Willian César. **Aproveitamento de Biogás, Hidrogênio e Gás de Síntese no Setor de Transporte Público e Agroindustrial de Arroz: Estudo de Potencial Energético de Resíduos e Emissões de Poluentes**. 2017. 235 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
natural para utilização como combustível comprimido para veículos 2006. Disponível em < <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:15403:-1:ed-1:v1:en> >. Acesso em 12.dez.2019.

NEVES, M. F., TROMBIN, V. G. (Coord.), (2014). **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014.

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Desempenho e qualidade nos sistemas de ônibus urbanos**, 2008. Disponível em: < <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub635109544561475593.pdf> >. Acesso em 22. out.2019.

PAES, N.X. et al. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Curitiba**. Secretaria Municipal do Meio Ambiente/ Departamento de Limpeza Pública: Curitiba, 2007.

PARK, Cheol Woong et al. **Development of hydrogen-compressed natural gas blend engine for heavy duty vehicles**. International Journal Of Automotive Technology, [s.l.], v. 18, n. 6, p.1061-1066, 5 ago. 2017. Springer Nature.

Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2009.

PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico**, 2013. Prevista na Lei 11.445/2007. Disponível em < http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf>. Acesso em 15.nov.2019.

PMC. Prefeitura Municipal de Curitiba (2017). **Relatório de emissão de gases de efeito estufa** (2017). Disponível em < <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/curitiba-divulga-relatorio-de-emissao-de-gases-de-efeito-estufa/39784> >. Acesso em: 27.10.2019.

PNSB. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. IBGE 2008. Investigação das condições do saneamento básico do país. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 05.fev.2020.

PROBIOGÁS. **Biometano como Combustível Veicular**. Disponível em < https://www.giz.de/en/downloads/giz_biogas_como_combustivel_digital_simples.pdf >. Acesso em 15.out.2019

PROBIOGÁS. **Projeto Brasil Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás. Guia Prático do Biogás, Geração e Utilização**. O projeto financiou a versão em português do „LeitfadenBiogas”. Brasil – Alemanha. Disponível em:< http://web-resol.org/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf>. Acesso em 15.10.2019.

PROJUP. **Crédito de descarbonização por biocombustível** (CBIO). Disponível em: www.projup.com.br. Acesso em 15.10.2019

RAJESHWARI, K.v et al. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v.4, n.2, p.135-156, jun. 2000. Elsevier BV.

RYDIN, Yvonne et al. Shaping cities for health: **complexity and the planning of urban environments in the 21st century**. The Lancet, [s.l.], v. 379, n. 9831, p.2079-2108, jun. 2012. Elsevier BV.

SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electro Eduardo Silva. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 33, n. 9, p.1101-1107, set. 2009. Elsevier BV.

SANTARELLI, M. G. L. Carbon exergy tax: **A thermo-economic method to increase the efficient use of exergy resources**. **Energy Policy**, v. 32, n. 3, p. 413-427, 2004.

SCARLAT, Nicolae; DALLEMAND, Jean-François; FAHL, Fernando. Biogás: Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 129, p.457-472, dez. 2018. Elsevier BV.

SCARPETTA, Aline; HOFFMANN, Ronaldo; MAYER, Flávio. **Avaliação da viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da biodigestão de dejetos suínos**. 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – UFSM, Quaraí.

SILVA, N.S. **Uso do GNV em ônibus urbano para operar em linha comercial** – projeto piloto GASBUS. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Porto Alegre, 2006.

SINDIPEÇAS. **Relatório da frota circulante** 2019. Disponível em: < <https://www.sindipecas.org.br/area-atuacao/?co=s&a=frota-circulante> >. Acesso em: 17. mai. 2018.

SOUZA, MARCOS E. **Fatores que influenciam a Digestão Anaeróbia**". artigo publicado na Revista DAE, Vol. 44, N° 137 págs. 88 a 94. 1984).

TAVARES, R.C. Composição gravimétrica: uma ferramenta de planejamento e gerenciamento do resíduo urbano de Curitiba e região metropolitana. 114f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Engenharia do Paraná, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2007.

ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Rio de Janeiro. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de

ZHU, Baoning et al. **Biogas production from municipal solid wastes using an integrated rotary drum and anaerobic-phased solids digester system**. Bioresource Technology, [s.l.], v. 101, n. 16, p.6374-6380, ago. 2010. Elsevier BV.

ZIVANOWIC, Z.; PETKOVIC S, MISANOVIC, S.; HOLO, A.; SAKOTA, Z. **Natural Gas Buses in Serbia Public Transport - Some Operational Experiences**. FME Transactions. v.43. p. 89-8, 2015.