

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

KATARINE FEIRA ALVES MARTINS

INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GÁS NATURAL EM UMA REGIÃO DO PAMPA

**Bagé
2022**

KATARINE FEIRA ALVES MARTINS

INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GÁS NATURAL EM UMA REGIÃO DO PAMPA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Rosa Costa Muniz

Bagé

2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M379i Martins, Katarine Feira Alves

Inventário das Emissões de Gás Natural em uma Região do
Pampa / Katarine Feira Alves Martins.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2022.

"Orientação: Ana Rosa Da Costa Muniz".

1. Emissões. 2. Metano. 3. Mineração. 4. Resíduos Sólidos
Urbanos. 5. Pecuária. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

KATARINE FEIRA ALVES MARTINS

INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GÁS NATURAL EM UMA REGIÃO DO PAMPA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 17 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Ana Rosa Costa Muniz
Orientadora
(UNIPAMPA)

Profa. Dra. Tânia Regina de Souza
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Marcilio Machado Morais
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **ANA ROSA COSTA MUNIZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/08/2022, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCILIO MACHADO MORAIS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/08/2022, às 22:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **TANIA REGINA DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/08/2022, às 15:06, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0899139** e o código CRC **F29AAC73**.

Referência: Processo nº 23100.016182/2022-21 SEI nº 0899139

Dedico este trabalho aos meus pais e avós. Sem o esforço deles eu não estaria realizando esse sonho.

RESUMO

O gás metano é um dos principais gases que contribuem para o efeito estufa, colaborando para o aquecimento global e conseqüentes mudanças climáticas. As suas principais fontes de geração são a extração de combustíveis fósseis, atividades agrícolas e de pecuária, aterros de resíduos urbanos e estações de tratamento de esgotos. Dentre as cidades que compõem a região do Pampa, no estado do Rio Grande do Sul, destaca-se Pinheiro Machado, pela grande atuação na pecuária, e Candiota, por possuir a maior jazida de carvão mineral do país, além de receber resíduos domésticos das cidades da região e destiná-los ao aterro sanitário da cidade. A compreensão acerca da mensuração e quantificação do gás metano emitido (EGM) se faz cada vez mais importante, tendo em vista seu elevado potencial de aquecimento global, tornando este o principal objetivo deste trabalho. Para isso, essa pesquisa se desdobrou em visitas técnicas nas mineradoras e aterro sanitário na cidade de Candiota, aliadas à pesquisa bibliográfica acerca do tipo de pecuária e quantitativo de rebanhos, por propriedades rurais de Pinheiro Machado. Os resultados mostraram que a pecuária emite $357,9 \times 10^6$ kg CO₂-eq/ano, o aterro sanitário emite $312,73 \times 10^6$ kg CO₂-eq/ano e a mineração emite $12,04 \times 10^6$ kg CO₂-eq/ano. Como proposta para trabalhos futuros destaca-se a ampliação do tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Palavras-chaves: Metano. Efeito estufa. Mineração. Pecuária. Aterro sanitário.

ABSTRACT

Methane gas is one of the main gases that contribute to the greenhouse effect, contributing to global warming and consequent climate change. Its main sources of generation are the extraction of fossil fuels, agricultural and livestock activities, urban waste landfills and sewage treatment plants. Among the cities that make up the Pampa region, in the state of Rio Grande do Sul, Pinheiro Machado stands out, for its great activity in livestock, and Candiota, for having the largest mineral coal deposit in the country, in addition to receiving domestic waste from cities in the region and send them to the city's sanitary landfill. Understanding the measurement and quantification of emitted methane gas (EGM) is becoming increasingly important, given its high global warming potential, making this the main objective of this work. For this, this research unfolded in technical visits to mining companies and sanitary landfill in the city of Candiota, combined with bibliographic research about the type of livestock and quantity of herds, by rural properties in Pinheiro Machado. The results showed that livestock emits $357,9 \times 10^6$ kg CO₂-eq/year, the sanitary landfill emits $312,73 \times 10^6$ kg CO₂-eq/year and mining emits $12,04 \times 10^6$ kg CO₂-eq/year. As a proposal for future work, the expansion of the treatment of urban solid waste stands out.

Keywords: Methane. Greenhouse effect. Mining. livestock. Landfill.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação no valor adicionado em Pinheiro Machado.....	20
Figura 2 - Participação no valor adicionado em Candiota	21
Figura 3 - Estrutura química de uma molécula de metano.....	22
Figura 4 - Equipamento de Coleta de Metano Entérico.....	27
Figura 5 - Reservatórios de gás subterrâneo	27
Figura 6 - Ilustração de um aterro sanitário.....	31
Figura 7- Distância entre as cidades de Candiota e Pinheiro Machado	34
Figura 8 - Captura de Metano por Tubulações.....	35
Figura 9 - Planta de Aproveitamento do Metano	36
Figura 10 - Pecuária Extensiva	37
Figura 11 - Pecuária Intensiva.....	38
Figura 12 - Mina de Carvão em Candiota-RS	39
Figura 13 - Distribuição de EGM por tipo de fonte	46
Figura 14 - Sistema de Drenagem	58
Figura 15 - Tratamento de Percolado em Aterro Sanitário.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos GEE com GWP e principais causas.....	19
Tabela 2 - Levantamento Relativo à Pecuária.....	41
Tabela 3 - Fator de Emissão para Fermentação Entérica por Animal.....	42
Tabela 4 - Emissão de Metano por Fermentação Entérica	42
Tabela 5 - Fator de Emissão de Metano por Dejetos	43
Tabela 6 - Emissão de Metano por Manejo de Dejetos.....	43
Tabela 7 - Dados Referentes ao Metano no Aterro Sanitário.....	44
Tabela 8 - Emissão de Metano na Mineração	45
Tabela 9 - Emissão de Gás Metano por tipo de fonte	45

LISTA DE SIMBOLOS

CH_4 - Metano

CO - Monóxido de Carbono

CO_2 - Dióxido de carbono

EF_{ik} - Fator de Emissão por Animal (kg CH_4 / cabeça/ano)

E_{GM} - Emissão do Gás Metano (kg CO_2 -eq/ano);

E_i - Emissão de Metano (Gg CH_4 /ano)

Gg - Giga grama

GWP - Potencial de Aquecimento Global do Metano (kg CO_2 -eq/kg de metano)

m_j - Quantidade de Metano por Fonte (kg de metano/ano)

N_2O - Óxido nitroso

O_3 - Ozônio

Pb₅ – Chumbo

P_{ik} - População Total de Animais (cabeças)

SO_2 - Dióxido de enxofre

LISTA ABREVIATURAS DE SIGLAS

ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRM	Companhia Riograndense de Mineração
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
EGM	Emissão de Gás de Metano
GEE	Gases do Efeito Estufa
GWP	Potencial de Aquecimento Global
IBF	Instituto Brasileiro de Florestas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SSM	Seival Sul Mineração
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.3	Objetivos Específicos	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Poluição Atmosférica e Gases do Efeito Estufa (GEE).....	18
3.2	A Região da Campanha	20
3.3	O Gás Metano	21
3.4	Fontes de Metano na Região de Estudo	23
3.4.1	Pecuária	24
3.4.2	Metano em Reservas de Carvão Mineral.....	27
3.4.3	Resíduo Sólido Urbano.....	29
3.5	Alternativas de Minimização do Impacto Ambiental causado pela EGM na Região de Estudo	30
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1	Diagnóstico das Fontes de Geração de Metano na Região de Candiota e Pinheiro Machado	34
4.2	Quantificação da Geração de Gás Metano por tipo de fonte, na região de estudo	37
4.3	Proposição de uma forma de padronizar a Quantidade Total de Gás Metano Emitido.....	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Quantificação da geração de metano por tipo de fonte.....	41
5.1.1	Pecuária	41
4.3.1	Resíduos sólidos.....	43
5.1.2	Mineração.....	44
5.2	Padronização de emissão de gás metano	45
5.3	Proposta para trabalhos futuros.....	47
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICE.....	58

INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da civilização, os seres humanos têm usado os recursos naturais para sobreviver e se desenvolver. À medida que a população cresce, o uso de recursos naturais se acelera. Na segunda metade do século XVIII, o início da Revolução Industrial foi marcando historicamente pelo surgimento da indústria, e foi acompanhado pela má destinação dos seus resíduos gerados (MELLER et al., 2017).

Relativo aos resíduos atmosféricos ou emissões gasosas, Pinotti (2016) aponta que os principais causadores do efeito estufa são: metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), o vapor d'água e dióxido de carbono (CO_2). A existência desses gases na atmosfera é crucial para a existência das espécies, entretanto, quando em quantidades desequilibradas acarretam acúmulo da radiação infravermelha e redirecionam o excesso de volta para a superfície terrestre, causando o aquecimento do planeta, o chamado efeito estufa (MATTEI; DA CUNHA, 2021).

Dalcin et al. (2021) esclarecem que para melhor entendimento do comportamento desses gases, frente ao efeito estufa, criou-se o Potencial de Aquecimento Global (GWP). O metano tem um potencial de aquecimento global vinte e uma vezes maior quando comparado ao dióxido de carbono (LIRA, 2017).

Atualmente, alguns setores têm gerado uma preocupação quanto aos índices de emissões do gás metano. Uma delas é a pecuária, prática que tem grande contribuição na economia do país e do mundo. No Brasil, 23,9% das emissões de metano são provenientes da criação de animais em pastagens e uso de fertilizantes sintéticos (SIGNOR; MORAES, 2021). O Brasil ocupa uma das primeiras colocações no ranking global de criação de bovinos (KELVIN; PESSOA; ABRÃO, 2019). Na criação de bovinos, o gás metano origina-se da digestão do animal, chamada fermentação entérica e também dos seus dejetos (SAMARINI et al., 2011). Mendes (2020) explana que o metano provém da decomposição dos resíduos orgânicos efetuada por ação bacteriana. Essa fonte ocasiona 18% da emissão antropogênica mundial do biogás (COELHO et al., 2021). Ainda, dentre as principais fontes de geração do gás metano, destacam-se os aterros sanitários, pois a decomposição dos resíduos gera um gás, conhecido como biogás ou gás de aterro (MIHELIC e ZIMMERMAN, 2012), o qual possui metano numa proporção de 45% a 60% (ROBERTA, 2008).

Comentado por Bonetti et al., (2016), as minas de carvão mineral também constituem fonte de gás metano. O metano é produzido por processos de coalificação, que consiste basicamente em reações anaeróbicas do material vegetal durante a formação do carvão, e é armazenado nas costuras e camadas do carvão (IPCC, 1996).

Neste sentido, destacam-se as cidades de Candiota e Pinheiro Machado, municípios vizinhos que fazem parte da Região da Campanha do estado do Rio Grande do Sul. Candiota e Pinheiro Machado totalizam entre bovinos, equinos e ovinos 238.369 cabeças de animais, segundo dados do IBGE (2020).

Em Candiota, está inserida a maior jazida de carvão mineral do país, a qual contém 39% do carvão do estado (RIBEIRO et al., 2017). De acordo com a Companhia Riograndense de Mineração, o estado do RS possui aproximadamente 80% do carvão mineral do Brasil.

Outro dado relevante para esse estudo é que a cidade de Candiota recebe resíduos domésticos de mais de 20 cidades da Região da Campanha no Aterro Sanitário Metade Sul (FERNANDEZ; PINTO, 2021).

OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Dentro desse contexto, o objetivo geral do trabalho foi estimar a quantidade de emissão de gás de metano (EGM) com base em kg CO₂-eq/ano na região de Candiota e Pinheiro Machado.

2.3 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Diagnosticar as fontes de geração de metano;
- Quantificar a geração de gás metano por tipo de fonte;
- Propor uma forma de padronizar a quantidade total de gás metano emitido;
- Propor projeto de captura de metano.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção irá abordar aspectos da poluição atmosférica e seu potencial de aquecimento global. Serão enfatizados aspectos gerais do gás metano, as principais fontes de geração, com foco na região de estudo. Também, versará sobre as possibilidades de captura, armazenamento e aproveitamento do metano como matéria-prima na geração de eletricidade, calor e produtos químicos.

3.1 Poluição atmosférica e Gases do Efeito Estufa (GEE)

A humanidade passou, historicamente, por cinco longos ciclos. Com grandes marcos desde a Revolução Industrial com a aparição da indústria têxtil, surgimento das máquinas a vapor, o ciclo fordista e a produção em massa até o ciclo das tecnologias (PEREIRA, 2021).

Como relata Ibrahin (2014), com o aumento populacional, das grandes evoluções industriais e das novas tecnologias, aumentaram também as interferências humanas negativas no meio ambiente. Com isso, são ocasionadas alterações no ar, como o aumento na concentração de gases poluentes e a presença de substâncias que antes não faziam parte da composição atmosférica.

Conforme prevê a legislação brasileira CONAMA 491/2018, a definição de poluente atmosférico engloba qualquer alteração seja na quantidade, concentração ou outras propriedades que afetam a qualidade do ar, tornando-o nocivo ao meio ambiente. A mesma também aponta os principais poluentes primários no Brasil sendo eles: Dióxido de enxofre (SO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃), Monóxido de Carbono (CO), Chumbo (Pb₅), fumaça e materiais particulados. Para a garantia dos padrões de qualidade do ar, os poluentes devem ser encontrados dentro dos parâmetros exigidos pela legislação.

Os principais gases que contribuem para o efeito estufa são o dióxido de carbono e o metano. Estes são liberados a partir de processos de queima de combustíveis fósseis, da intensa industrialização e urbanização, das atividades de uso do solo, fertilizantes e da pecuária. Esses gases são malignos à saúde humana e contribuem nas variações da temperatura global (LIMA et al., 2001; MOLION, 2008).

O efeito estufa consiste num processo natural, de aquecimento térmico da Terra. É devido a esse fenômeno que a temperatura do planeta é favorável para a

sobrevivência de todos os seres vivos. Estudos comprovam que sem o efeito estufa nosso planeta possuiria uma temperatura média de 30°C a menos (COELHO, 2011). Parte da radiação infravermelha emitida pela superfície do planeta é absorvida pelos GEE na atmosfera, inibindo a reemissão de infravermelho para o espaço e aumentando a temperatura da Terra (BARRY; CHORLEY, 2013).

Vieira et al. (2008) relatam que o GWP consiste em uma medida de como uma determinada quantidade de GEE contribui para o aquecimento global.

Braga (2018) explana que o GWP é representado comumente pela unidade de dióxido de carbono (CO₂-eq). Na Tabela 1 apresenta-se a relação dos GEE, potencial de aquecimento global e as principais causas.

Tabela 1 - Relação dos GEE com GWP e principais causas

GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	PRINCIPAIS CAUSAS
CO ₂ (dióxido de carbono)	1 x CO ₂ e (referência)	Uso intensivo de combustíveis fósseis, aumento da ocorrência de queimadas e incêndios florestais, que provocam o aumento das emissões de CO ₂ para a atmosfera; Redução das áreas florestadas, que absorvem e estocam o carbono atmosférico.
CH ₄ (metano)	21 x CO ₂ e	Degradação anaeróbica de material orgânico em aterros, estações de tratamento de efluentes, lagoas anaeróbicas com dejetos animais, além do processo digestivo de animais ruminantes (ex:gado bovino).
N ₂ O (óxido de nitrogênio)	310 x CO ₂ e	Queima de combustíveis fósseis, uso abusivo e incorreto de fertilizantes químicos no solo.
CFCs, HFCs, PFCs	140 x até 11.700 x CO ₂ e	Sistemas de refrigeração e sprays aerossóis
SF ₆ (hexafluoreto de enxofre)	22.500 x CO ₂ e	Produzido industrialmente para uso principalmente pela indústria elétrica, como meio isolante e extintor de arco elétrico, tanto em disjuntores, como em sub-estações blindadas

Fonte: Manual para aproveitamento do biogás (2009).

Ao analisar a Tabela 1 nota-se que o gás metano tem potencial de aquecimento global 21x maior que o dióxido de carbono. Outro dado relevante nesta relação é o potencial de aquecimento global do óxido de nitrogênio sendo 310x maior que o dióxido de carbono. Na região de estudo deste trabalho é comum o uso de fertilizantes no solo, sendo uma sugestão para trabalhos futuros o estudo dos impactos do N₂O na região.

Da Silva (2018) reportou valores um pouco diferentes e realizando uma perspectiva dos principais GEE, para um horizonte de 100 anos, o GWP para CO₂, CH₄ e N₂O são 1 kg CO₂/kg CO₂, 34 kg CO₂/kg CH₄ e 298 kg CO₂/kg N₂O, respectivamente.

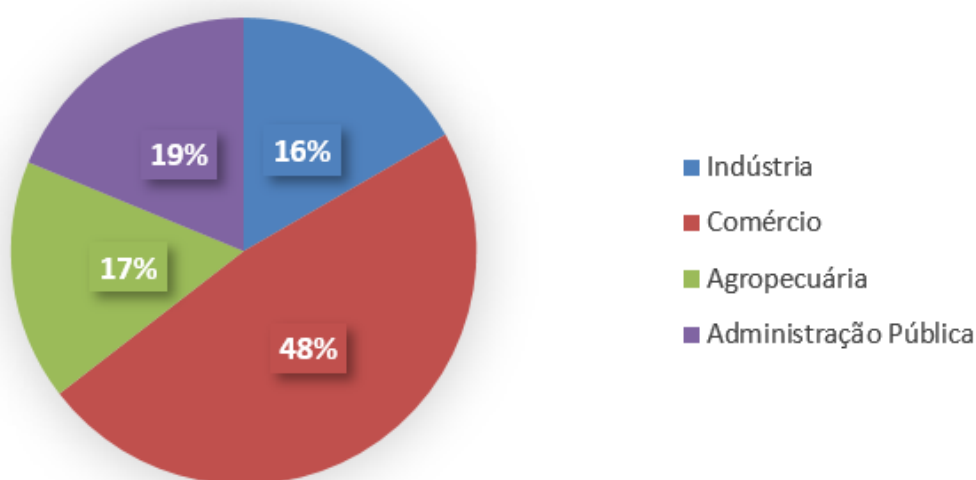
3.2 A região da Campanha

Com distância de 46,4km, estas cidades estão localizadas na região do Pampa, no estado do Rio Grande do Sul (GOOGLE MAPS, 2022).

Pinheiro Machado é um dos municípios mais antigos do Rio Grande do Sul. A povoação deste município, segundo registros, foi por volta de 1765. Segundo dados atuais do IBGE (2021), o município possui uma área territorial de 2.248,221 km², população estimada em 12.122 habitantes, Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 24.912,28 (IBGE, 2019).

De acordo com dados do SEBRAE (2020), a distribuição de participação no valor adicionado (VA) do município se distribui conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Participação no valor adicionado em Pinheiro Machado



Fonte: SEBRAE (2020).

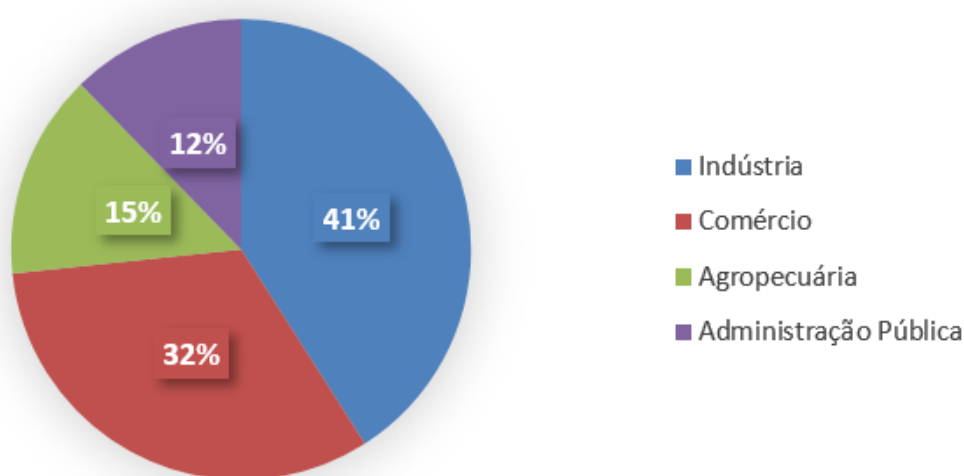
É notável que na cidade de Pinheiro Machado a atividade de agropecuária tem grande influência no valor adicionado, maior que a atividade industrial, por exemplo. Estudos do SEBRAE (2020) apontam a existência de 1.385 propriedades rurais no município. Devido a condições climáticas favoráveis, a cultura agrícola é um atrativo e, em 2018, as principais culturas foram de soja, milho, feijão, uva e arroz.

Outra cultura importante para a cidade, segundo dados do IBGE (2020) é a criação de animais. São totalizados 121.434 cabeças de bovinos, 4.956 equinos e

111.978 ovinos. Pinheiro Machado ocupa o quinto lugar no *ranking* estadual de produção de ovinos.

Candiota é município vizinho de Pinheiro Machado, possui 9.707 habitantes e tem área territorial de 933,628 km² (IBGE, 2020). Seu produto interno bruto *per capita* é de R\$ 67.760,07 (IBGE, 2019). E a distribuição de participação no valor adicionado (VA) do município em 2018 está disposta na Figura 2.

Figura 2 - Participação no valor adicionado em Candiota



Fonte: SEBRAE (2020).

Já na cidade de Candiota a indústria é a maior atividade de participação no valor adicionado. A cidade também possui aterro sanitário, onde recebe resíduos domésticos de mais de 40 cidades da Região da Campanha, incluindo de Pinheiro Machado (MEIOESTE, 2022).

A Companhia Riograndense de Mineração (2022) informa que em Candiota está inserida na maior jazida de carvão mineral do Brasil. As reservas de carvão são de 1 bilhão de toneladas passíveis de serem mineradas a céu aberto, em profundidades de até 50 metros.

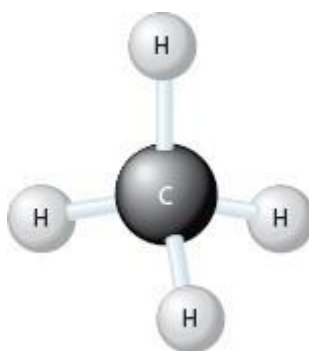
3.3 O gás metano

Baseando-se em estudos sobre o universo, cientistas creem na sua existência a 13,7 bilhões de anos. Após vários fenômenos, como a condensação de gases, a 4,6

bilhões de anos originou-se o sol e o sistema solar. Primordialmente, a atmosfera terrestre era composta pelos gases amônia e metano, encontrados em abundância, e uma pequena quantidade de oxigênio (O₂). O aumento da concentração de oxigênio na atmosfera ocorreu com o surgimento de seres que realizam fotossíntese (BROWN, 2018). De acordo com Solomons (2018), o metano é um hidrocarboneto de fórmula molecular CH₄ e faz parte do grupo dos alcanos, que tem fórmula molecular geral: C_nH_{2n+2}.

O metano é o hidrocarboneto mais simples que existe, sua molécula é composta por um átomo de carbono ligado a quatro átomos de hidrogênio. O carbono possui quatro elétrons de valência, distribuição de acordo com *Linus Pauling* 2s² 2p² e forma quatro ligações. As quatro ligações da molécula são covalentes, pois cada uma compartilha um elétron de valência do carbono com um elétron do hidrogênio, dando assim uma estrutura tetraédrica, com um ângulo de 109,5° entre cada dois hidrogênios ligados (SOLOMONS, 2018). Na Figura 3 pode-se visualizar a estrutura química do metano.

Figura 3 - Estrutura química de uma molécula de metano



Fonte: JESPERSEN (2017)

McMurry (2016) detalha que essa assimetria na estrutura da molécula se dá por conta da hibridização, pois quando um orbital s se hibridiza com três orbitais p os orbitais híbridos sp³ resultantes são assimétricos em relação ao núcleo.

Analisando a estrutura da molécula nota-se mais de dois átomos, cada um com seu momento dipolar. Porém, as quatro ligações são iguais, tendo momento dipolo nulo, então essa molécula é apolar (SOLOMONS, 2018).

Propriedades físico-químicas são comentadas por Vieira et al. (2008), que afirmam que o metano é disposto na natureza como um gás incolor e não possui odor. Tem densidade no valor de 0,7 kg/m³ e temperatura de condensação igual a - 164,5°C. Quando liquefeito apresenta densidade 464,5 kg/m³ e solidifica-se na temperatura de -183°C. O encontro das três fases simultaneamente é na temperatura de -182,5°C. Outra característica significativa é que o gás metano sofre combustão espontânea à 600°C.

McMurry (2016) comenta a pouca afinidade que os alcanos têm em relação à maioria das espécies químicas. Estes também não interagem facilmente na química dos seres vivos. Porém, os alcanos reagem com oxigênio, halogênios e algumas outras substâncias quando submetidos a condições apropriadas como aquecimento, radiação de luz ultravioleta, entre outros catalisadores.

Na Reação 1 tem-se a reação simplificada de combustão do metano, formando dióxido de carbono e água como produtos e liberando energia.



A reação de combustão de alcanos é de extrema importância para a indústria, pois eles servem como combustíveis devido à grande quantidade de energia, que liberam na reação (VOLLHARDT, 2013).

Classificado como um dos hidrocarbonetos mais abundantes, o metano origina-se a partir da *methanol archaea*, um microrganismo que realiza a decomposição de compostos que possuem carbono como dióxido de carbono e ácido acético, em meio anaeróbico. Esses microrganismos são encontrados na natureza dentro de animais que se alimentam de folhas, pântano e rochas (CAREY, 2011).

Outras fontes de alcanos, comentado por *Bettelheim et al.* (2016) são petróleo, carvão e o gás natural. O gás natural possui aproximadamente 95% de metano, sendo o restante composto por etano e uma mistura de outros alcanos com baixo ponto de ebulição. O petróleo é um composto complexo, formado em maior parte por hidrocarbonetos provenientes de decomposição de plantas e animais marinhos.

3.4 Fontes de metano na região de estudo

A operação unitária da filtração se refere à separação mecânica entre as fases particulada e fluida, presente em uma determinada suspensão, utilizando-se um meio poroso, o qual retém a fase particulada e é permeável à fase fluida (CREMASCO, 2012).

3.4.1 Pecuária

O Brasil possui seis biomas que são eles: Mata atlântica, Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pantanal e Pampa. O bioma Pampa compreende parte do estado do Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina. De origem indígena, a palavra pampa é sinônimo de região plana. Ocupando uma área territorial brasileira de 176,5 mil quilômetros quadrados, o que equivalente a 63% do estado do Rio Grande do Sul, de acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas (IBF).

A Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (Abiec) divulgou o relatório Perfil da Pecuária no Brasil em 2021, onde o rebanho brasileiro totalizou 187 milhões de animais. No ano de 2020, o PIB do Brasil foi de R\$ 7,4 trilhões, uma queda de 4,1% em relação a 2019. Apesar dessa queda do PIB do Brasil, o PIB da Pecuária no mesmo período aumentou sua representatividade no PIB total, passando de 8,4% para 10%, evidenciando a força do setor na economia brasileira.

Segundo Peres *et al.* (2019), em 2018 o Brasil possuía o segundo maior rebanho bovino do mundo, além de ser o maior exportador de carne bovina, com 2 milhões de toneladas por ano, e o segundo maior produtor de carne, com 11 milhões de toneladas por ano, valor que representa 15% da produção mundial, ocupando assim uma posição de destaque na indústria pecuária mundial.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2022) a região do Pampa, no Rio Grande do Sul, associando o clima, a biodiversidade e as características da vegetação, é favorável à pecuária que tem grande papel econômico na região do pampa gaúcho.

A prática da pecuária, como qualquer outra atividade humana, causa impactos ao meio ambiente. Estes são diferenciados dependendo da atividade e da forma como ela ocorre. Podendo influenciar a degradação dos sistemas naturais, principalmente devido à forma de criação e aos processos de produção. Destacam-se a depleção, poluição da água, a perda da biodiversidade e a contribuição para intensificação das mudanças climáticas globais (STEINFELD *et al.*, 2006).

DE SENE (2019) expõe que na pecuária são gerados gases causadores do efeito estufa, com destaque para o metano. Este é produzido por ruminantes pela fermentação entérica e fermentação dos dejetos orgânicos, possuindo capacidade de captar 21 vezes mais calor quando comparado ao CO₂. Berndt (2011) aponta o setor como responsável por 18% das emissões de gases do efeito estufa, por 9% de todo gás carbônico emitido por desmatamentos e por 37% do metano emitido.

Na cultura intensiva, onde os animais são criados em sistema de confinamento, há grandes volumes de dejetos quando comparados à pecuária extensiva. Pascualinni (2020) explica que isto acontece devido ao grande número de animais contidos em determinada área, assim se faz necessário o saneamento desses espaços, gerando efluente rico em bactérias, minerais e nutrientes. E se não houver uma destinação correta esse efluente pode contaminar rios e solos.

Por meio da realização de estudos das características da cidade de Pinheiro Machado, a cultura de maior significância é a pecuária extensiva, onde os animais são criados livremente em pastagens naturais. A pecuária extensiva tem sido um dos maiores contribuintes para a degradação ambiental, pois muitas vezes gera vastas áreas produtoras e refletoras de calor, pois matas, árvores, quebra-ventos e outros são eliminadas. Essas áreas são de extrema importância, pois fazem a vaporização e a hidrotermorregulação ambiental (PEDREIRA E PRIMAVESI, 2006).

De modo geral, as estimativas de emissão dos gases do efeito estufa da pecuária de corte brasileira apresentam alguma variação, dependendo da técnica e dos conceitos da instituição que realizou a pesquisa. A Rede Pecus da Embrapa estudou a emissão do gado de corte brasileiro em diversas condições. O valor médio obtido pelas pesquisas da Embrapa foi de 48 a 66 kg de metano emitidos por cabeça por ano (RESENDE, 2016). As fermentações entéricas dos rebanhos, em uma estimativa mundial, produzem de 160 a 200 milhões de toneladas de metano por ano. O total de CH₄ emitido pela pecuária (fermentação ruminal e dejetos) corresponde a 35-40% do total de metano antrópico emitido (STEINFELD *et al.*, 2006).

Em contrapartida é importante esclarecer a relação pecuária e meio ambiente, visto que existem inúmeras outras fontes como: poluição de automóveis, indústrias, desmatamentos, queimadas, entre outros que, de acordo com Berndt (2009), possuem impacto até quatro vezes maior que a emissão de metano produzida pelos bovinos. Além de que, no sistema extensivo, se a área não sofrer desmatamento, é possível o resgate do gás carbônico da atmosfera. Isso ocorrerá pelas plantas através do

processo de fotossíntese, por meio do qual há síntese de carboidratos e liberação de oxigênio (RESENDE, 2016).

No Brasil, a pecuária é um setor econômico fundamental, pois o país é líder mundial na produção de bovinos, com um rebanho de 215 milhões de cabeças. De acordo com o Atlas Econômico do Rio Grande do Sul de 2022, o estado ocupa a sétima posição no *ranking* de maior produtor de bovinos.

Em relação ao rebanho de ovinos, o país conta com um número médio de 20,6 milhões de cabeças no triênio 2018-2020. Segundo a Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE, o estado do Rio Grande do Sul registrou em média no período 2018-2020 um rebanho de 3.065.548 cabeças/ano. Ocupando a segunda posição no *ranking* dos estados brasileiros que possuem maior rebanho de ovinos, segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2022.

O Rio Grande do Sul também ocupa no *ranking* a terceira posição de maior produtor de suínos do Brasil. De acordo com a Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE, o estado registrou em média nos triênios 2018-2020 uma produção de 5,7 milhões de cabeças. Um estudo realizado por Santos *et al.*, no ano de 2011, apontou a cidade de Pinheiro Machado como a sétima cidade com maior rebanho de ovinos do Rio Grande do Sul. Sendo um dado relevante para o estudo, foi realizada pesquisa referente ao rebanho de ruminantes na cidade.

Os ruminantes produzem metano através da digestão, processo fisiológico do animal herbívoro. Localizado no rúmem, o primeiro compartimento do estômago, a digestão fermentativa é realizada por microrganismos que convertem o alimento ingerido, principalmente os carboidratos, em ácidos graxos, que são utilizados como fonte de energia pelo animal. Provenientes da fermentação são gerados gases indesejáveis como o dióxido de carbono, hidrogênio e metano. Segundo Meister (2013), 87% da produção total de metano ocorre no rúmem e 95% do metano ruminal é excretado via eructação (boca e nariz).

Para captura e quantificação é necessário que o animal porte um sistema de recolhimento desses gases produzidos na fermentação, como o estudo da Embrapa, no ano de 2010. O mecanismo consiste em um sistema de PVC conectado a uma mangueira. O ponto de coleta dos gases fica próximo a narina do animal, e o sistema possui vácuo, propiciando o recolhimento do biogás. Esse sistema está exemplificado na Figura 4.

Figura 4 - Equipamento de Coleta de Metano Entérico



Fonte: Embrapa (2010)

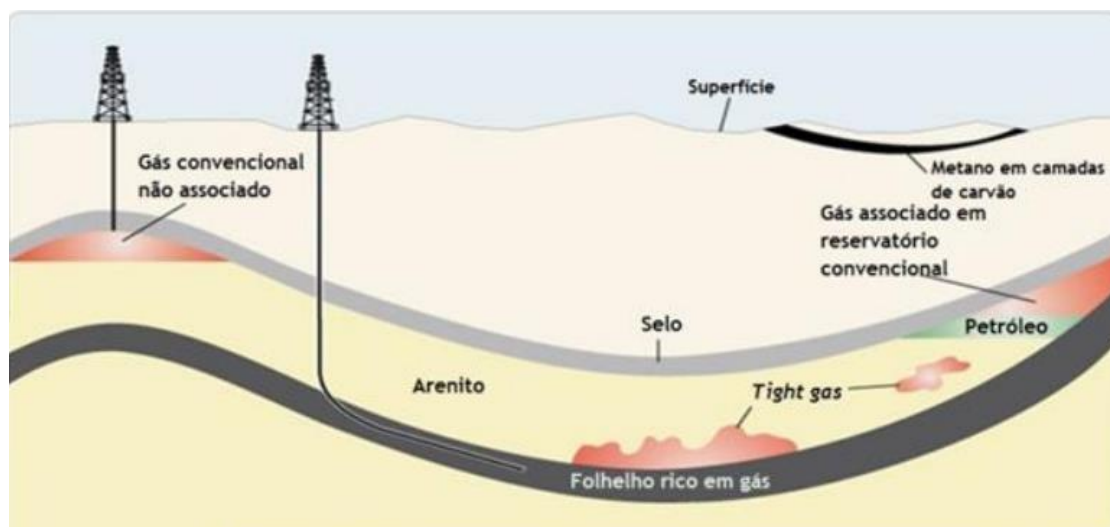
3.4.2 Metano em Reservas de Carvão Mineral

A geração de energia é dividida em energias renováveis e não renováveis. A energia renovável tem origem em recursos naturais como água, ventos e biomassa. Ao contrário das renováveis, a energia não renovável é gerada a partir de fontes esgotáveis como petróleo, carvão mineral e gás natural. Apesar de possuir alto potencial poluidor, as fontes mais importantes na matriz energética mundial fazem parte das energias não renováveis, que respondem por quase 98% do consumo total (D'ALMEIDA, 2015).

Dos Santos (2017) conta que a formação do carvão mineral ocorreu há 300 milhões de anos, devido a restos de vegetais como galhos, troncos, folhas e raízes de grandes árvores que foram soterrados por sedimentos. Graças à alta pressão e elevadas temperaturas ocorreu uma concentração de carbono e hidrogênio, originando esse combustível.

Os reservatórios de carvão são estruturas formadas em geral por rochas sedimentares, com depósito de matéria orgânica e sedimentos. Reservatórios comuns no Brasil possuem estratigrafia caracterizada por sucessões de folhelho e arenito, sendo a última a rocha (MILANI, 2000). A Figura 5 mostra os tipos de reservatórios de gás e como estão dispostos no subsolo.

Figura 5 - Reservatórios de gás subterrâneo



Fonte: Concito (2013)

Metano em camadas de carvão (*coalbed methane*), um tipo de reservatório não convencional, apresenta camadas de carvão que atuam como rochas geradoras e rochas reservatório de gases, cuja composição principal é metano (SANTOS & CORADESQUI, 2013).

Segundo Costa (2012), 200 m³ de metano são gerados por tonelada de carvão, porém a maior parte desse metano é perdido durante processos geológicos que ocorrem durante a evolução da bacia sedimentar. Assim, acredita-se que em uma tonelada de carvão possa haver 25 m³ de metano contido, para ser recuperado e usado como fonte de energia.

Comentado por Kissel (2006), o ar da mina de carvão é composto por diversos gases, dentre estes destaca-se o metano. O CH₄ tem na mineração do carvão uma de suas principais fontes de emissão, podendo ser liberado na atmosfera de minas a partir de diversas fontes e em variadas concentrações, isso porque, à medida que o metano emerge das camadas de carvão e fendas, ele progressivamente se mistura com o ar de ventilação e é diluído.

As maiores reservas de carvão mineral no Brasil estão localizadas na região sul. O estado do Rio Grande do Sul lidera possuindo 89% dessas reservas, seguido de Santa Catarina e Paraná. Devido à escassez de chuvas e a abundância de carvão, a geração de energia através da queima de carvão se torna ainda mais favorável (ELIAS, 2018).

Nesse cenário, na cidade de Candiota, interior do Rio Grande do Sul, está localizada a maior jazida do país. De acordo com a companhia Riograndense de

Mineração, a jazida possui um grande potencial energético, com cerca de três bilhões de toneladas do minério. Atualmente, a mina em atividade é a céu aberto e possui as condições geológicas mais favoráveis do país.

3.4.3 Resíduo Sólido Urbano

A geração de resíduos sólidos urbanos cresceu 4% durante a pandemia da Covid-19. De acordo com dados do Panorama dos Resíduos Sólidos Brasil (2021), em média, cada brasileiro produz por dia 1,7 kg de resíduos chegando a 82,5 milhões ton/ano no Brasil. Houve um aumento de 4% devido à pandemia da Covid-19.

Orsini *et al.* (2012) comentam que a disposição inadequada dos resíduos impacta em problemas ambientais como a degradação do solo, poluição dos corpos hídricos, intensificação de enchentes, poluição atmosférica, proliferação de insetos vetores de doenças e catação em condições insalubres.

Para assegurar que o resíduo doméstico gerado tenha tratamento e destinação corretos existe o gerenciamento dos resíduos sólidos. Este consiste num conjunto de ações, que abrange todas as etapas: coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente correta dos resíduos sólidos e dos rejeitos. O gerenciamento deve estar conforme com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Neste plano de gerenciamento são indicadas as melhores ações ambientais para cada etapa do processo (IBRAHIN *et al.*, 2015).

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nela consta o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas, incluindo estados, distrito federal, municípios e iniciativa privada. Em seu artigo 3, inciso XVI, define resíduos sólidos como:

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, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Nascimento *et al.* (2019) apontam os aterros sanitários como o mais correto destino dos resíduos sólidos urbanos com grandes potenciais para a exploração de biogás e consequente fonte alternativa renovável para a geração de energia elétrica e/ou térmica. Cada tonelada de resíduo disposto possui potencial energético da ordem de 0,1 a 0,2 MWh.

É possível captar o gás oriundo da decomposição dos resíduos, através de um sistema de extração constituído por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para remoção do material particulado e tanques separadores de condensado. O biogás, já isento de partículas sólidas e de gotículas líquidas, passa então pelo soprador e é encaminhado para a queima controlada no *flare* e/ou para outros sistemas de aproveitamento energético (RUFINO, 2018).

3.5 Alternativas de minimização do impacto ambiental causado pela EGM na região de estudo

Alguns estudos na área da pecuária visam reduzir as emissões de metano. Diversas vacinas foram formuladas segundo Hook *et al.* (2010), mas estas não foram eficientes na redução das emissões de metano, provavelmente porque as vacinas não atingiram todas as espécies metanogênicas presentes no rúmen.

Existem alternativas que podem resultar na redução das emissões de CH₄, como: melhorar o valor nutritivo da alimentação dada aos animais em pastejo, equilibrar a dieta com concentrados ou fornecer pastagens de melhor qualidade que resultam em uma melhor digestibilidade (ZOTTI; PAULINO, 2009).

Oliveira *et al.* (2014) relatam uso de plantas na dieta de ruminantes, como estratégia para diminuir o metano entérico. Estudos avaliaram os efeitos da leucena (leguminosa, nativa da América Central) na alimentação, onde observou-se redução de 17,2% na produção de metano ruminal em dietas suplementadas. Linhaça, sulfato e nitrato também apresentam potencial em mitigar metano entérico.

Além das estratégias na alimentação dos ruminantes, o estudo por tecnologias de captura de metano por fermentação entérica vem sendo abordadas. No ano de 2010, a Embrapa Pecuária Sudeste, de São Carlos (SP), desenvolveu um equipamento fabricado com canos de PVC, em forma de canga que permite a captura e medição das emissões do gás por animais.

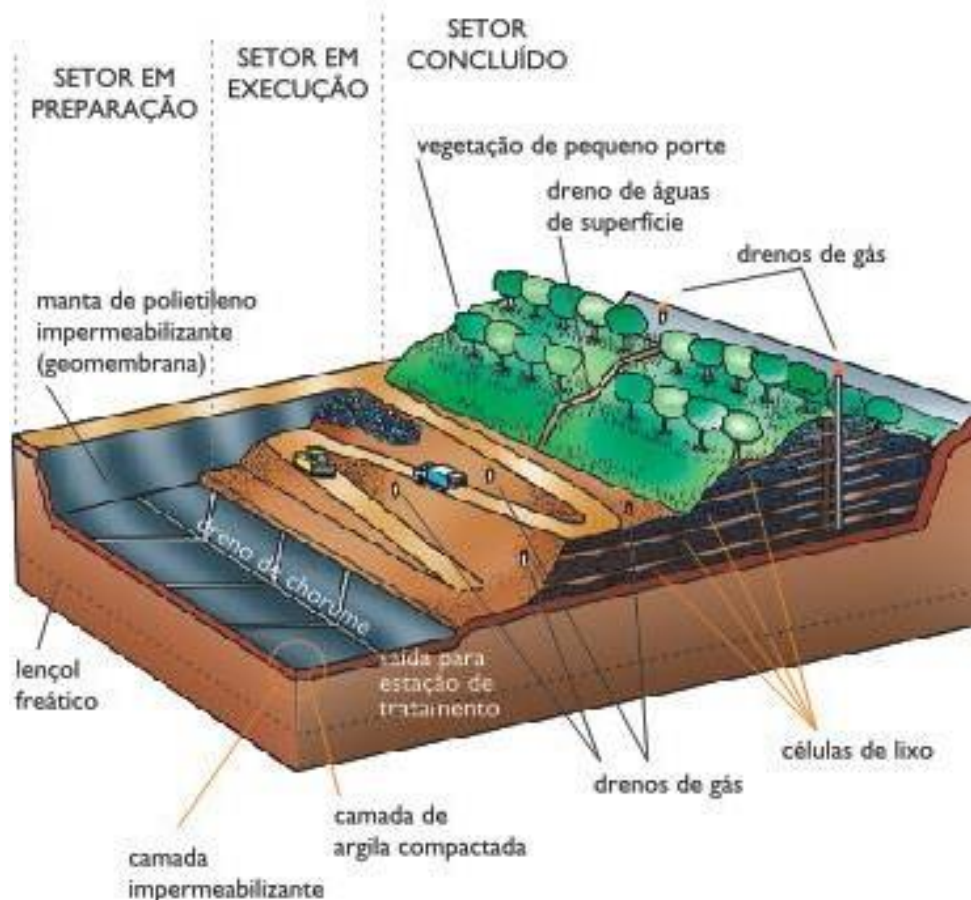
De acordo com Da Silva (2018), as emissões fugitivas, provenientes da etapa de extração do carvão, são responsáveis por cerca de 8% do metano antropogênico emitido mundialmente. Existem tecnologias disponíveis para o aproveitamento do CH₄ das minas de carvão, porém, ainda não foram testadas no Brasil (SCHREIBER, 2013).

Segundo Kuckartz (2014), o metano liberado durante ou após a mineração de carvão fóssil é um importante recurso, ainda mal aproveitado. Entretanto, 14 países com minas ativas de carvão empregam alguma forma ou sistema de drenagem de CH₄.

O metano possui um alto poder calorífico 9,9 kWh/Nm³, e portanto, seu conteúdo energético permite ampla versatilidade de uso para o biogás (GIACOBBO; FROTA, 2021). Esta é uma alternativa viável em aterros sanitários, em que o metano é gerado pela decomposição dos resíduos sólidos (CETESB, 2020) e depois de capturado, serve como combustível para gerar energia (NASCIMENTO 2019).

Definido como uma construção para recebimento de resíduos sólidos, o aterro sanitário é uma solução para o destino correto do lixo gerado pela população. Estes locais devem responder à legislação ambiental, a fim de garantir a segurança do meio ambiente (SILVA; TAGLIAFERRO, 2021). Na Figura 6 tem-se a representação de um aterro sanitário. No setor de execução são instalados drenos de gás, para captura de gases provenientes da decomposição da matéria. O setor concluído se dá pelo recebimento de resíduos sólidos e drenos para líquidos e gases na superfície.

Figura 6 - Ilustração de um aterro sanitário



Fonte: Transportes e locações (2013)

Para evitar que líquidos provenientes do processo de decomposição atinja o lençol freático é realizada a impermeabilização do solo. Normalmente, são utilizadas geomembranas de PEAD (polietileno de alta densidade), também são empregados solos impermeabilizantes, como o argiloso (LOCASTRO e ANGELIS, 2016).

O trânsito de máquinas na célula faz com que os resíduos sejam compactados, consequentemente, reduzindo o volume. Quando não há mais presença de oxigênio, a biodegradação aeróbia é interrompida e inicia-se o processo de biodegradação anaeróbia, com a liberação de gases (gás de aterro) e de um líquido escuro denominado chorume (BRAGA *et al.*, 2005).

O gás de aterro produzido é composto principalmente pelo gás metano e dióxido de carbono, e tende a se acumular na parte superior das células, devendo haver um sistema de drenagem do gás para queima ou reutilização (BRAGA *et al.*, 2005).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2014), esse gás possui conteúdo energético elevado e semelhante ao gás natural, composto principalmente, por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. O poder calorífico inferior (PCI) do biogás é em torno de 12,5 MJ/kg, enquanto o do gás natural é 39,9 MJ/kg. O processo de produção de gás acontece em vários estágios devido à presença de bactérias que se alimentam de matéria orgânica, transformando-a em compostos mais simples, e produzindo gás carbônico, ácido acético e metano (BORGES e GUEDES, 2008).

Pode-se dizer que a capacidade energética do gás de aterro origina-se do metano, visto que este é o componente que predomina no biogás (SILVA e BRAZ, 2002).

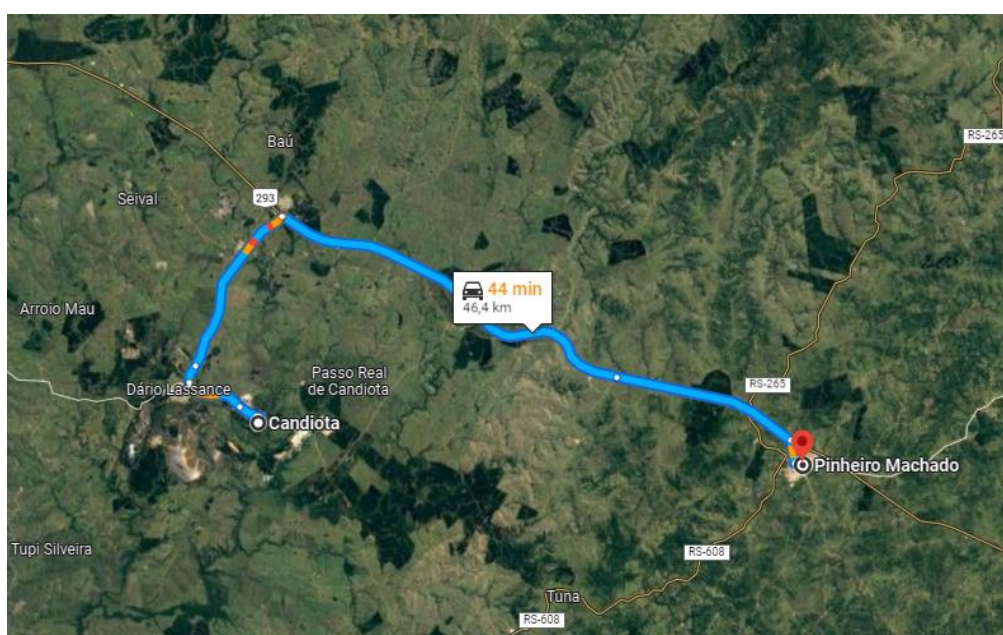
Moreira *et al.* (2020), [explanam](#) que mesmo com um sistema de coleta de gases, os aterros sanitários são responsáveis por emissões de CH₄. As emissões fugitivas de biogás podem oferecer riscos à saúde ambiental das comunidades próximas ao aterro, além de inviabilizar o aproveitamento energético do CH₄. Essas emissões dependem de vários fatores relacionados aos resíduos, modo de construção do aterro como profundidade da camada de cobertura utilizada, quantidade de drenos de gases, as condições climáticas da região, entre outros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordadas as metodologias que foram seguidas, para atender a proposta deste trabalho.

Candiota e Pinheiro Machado são cidades vizinhas, ligadas pela BR 293. A distância entre os municípios do estudo é de 46,4 km de acordo com Google Maps (2022) como ilustra a Figura 7.

Figura 7- Distância entre as cidades de Candiota e Pinheiro Machado



Fonte: Google Maps (2022)

4.1 Diagnóstico das fontes de geração de metano na região de Candiota e Pinheiro Machado

Para diagnóstico das principais fontes geradoras de metano na região de estudo foi realizado o levantamento de dados socioeconômicos baseados em estatísticas reportadas pelo IBGE e SEBRAE, além de visitas técnica in loco.

Como referenciado neste trabalho, o metano também é encontrado na decomposição de resíduos sólidos. Através do levantamento de dados das duas cidades em questão constatou-se a presença de um aterro sanitário na cidade de Candiota. O aterro recebe resíduos domésticos de várias cidades da região inclusive

da cidade de Pinheiro Machado, como consta no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do município.

Foi realizada visita técnica ao aterro sanitário, operado pela empresa Meioeste. De acordo com o responsável técnico do aterro, o mesmo recebe resíduos sólidos de mais de 40 cidades da região. Esses resíduos são colocados na célula, instalada em uma cava de mina, ou seja, local que já foi explorado pela mineração. Através da decomposição desses resíduos obtém-se o biogás. Como mostra a Figura 8 o gás é capturado por um sistema de drenagem vertical (subterrâneo) e horizontal (tubulação preta) que alcança todos os níveis das camadas da célula e, posteriormente encaminhado para a planta de geração de energia elétrica.

Figura 8 - Captura de Metano por Tubulações



Fonte: Autor (2022)

Como sabe-se o biogás é composto por uma mistura de gases, e chega na planta de captação nessas condições. O mesmo passa por um tratamento, onde ocorre a remoção de líquidos. Na geração de energia do biogás, ocorre a conversão

da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão. Essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica. Na Figura 9 está representada a estação de captura de metano e sistema de produção de energia.

Figura 9 - Planta de Aproveitamento do Metano



Fonte: Autor (2022)

Também foram investigados os dados referentes à mineração, de acordo com a CRM em Candiota, onde está localizada a maior jazida de carvão mineral do país.

O metano origina-se na formação do carvão, podendo estar tanto adsorvido no carvão, como também presente em seus poros. Está localizado no sistema de *cleats*, onde o carvão é composto por uma rede de fraturas próximas, formadas durante o processo de carbonificação, de acordo com estudos de Costa (2012).

De acordo com a literatura, é possível a captura de metano nas camadas profundas antes das mesmas serem lavradas (*coal bed methane*). Citado por Costa (2012) o gás pode ser capturado através das técnicas não convencionais como a de

despressurização do reservatório (CBM) ou pela recuperação avançada (ECBM) onde é inserido N_2 ou CO_2 . Ambas as técnicas se mostram eficientes.

4.2 Quantificação da geração de gás metano por tipo de fonte, na região de estudo

Em Pinheiro Machado, onde a atividade de pecuária é um destaque, foi realizado o levantamento de dados pelo Sistema de Defesa Agropecuária. Deste, foram coletados total de cabeças do rebanho, quantidade de propriedades rurais e características relevantes para o estudo como o tipo de atividade exercida extensiva ou intensiva.

As diferenças na prática da pecuária são exemplificadas nas Figuras 10 e 11. Na Figura 10, onde o gado é criado livre em pastagem é denominado cultura de pecuária extensiva.

Figura 10 - Pecuária Extensiva



Fonte: Fertili (2022)

A pecuária intensiva é denominada para atividades em que o gado é criado em sistema de confinamento, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Pecuária Intensiva



Fonte: Uniderp (2022)

A metodologia de cálculo para a quantificação de gás metano emitido pelos ruminantes por fermentação entérica em Pinheiro Machado, foi realizada de acordo com Embrapa (2010) proposta no IPCC (2006).

Entre as três categorias de cálculos existentes foi escolhido, para o presente trabalho, o método Tier 1, por ser um modelo mais simples. Este requer apenas dados da população de animais, por espécie/categoria, e o clima da região, combinando estes aspectos com os fatores de emissão padrão do IPCC para estimar as emissões.

As emissões da fermentação entérica (Gg CH₄/ano) foram calculadas a partir da Equação 1.

$$E_i = \sum_k \frac{(EF_{ik} \times P_{ik})}{10^6} \quad (1)$$

Onde:

E_i é a emissão de metano por fermentação entérica, por animal do tipo i (Gg CH₄/ano);

EF_{ik} é o fator de emissão por animal do tipo i (kg CH₄/ cabeça/ano);

P_{ik} é a população total de animais do tipo i (cabeças);

De maneira similar para a determinação das emissões de metano por dejetos dos ruminantes foi utilizada a Equação 1.

Onde: E_i é a emissão de metano por dejetos, por animal do tipo i (Gg CH₄/ano);

EF_{ik} é o fator de emissão por animal do tipo i (kg CH₄ / cabeça/ano) e P_{ik} é a população total de animais do tipo i (cabeças);

No que se refere às emissões de metano originados em aterro sanitário, através de visita técnica e dados fornecidos na Audiência Pública referente ao Relatório Ambiental Simplificado (RAS) do Licenciamento Ambiental de aterro sanitário de RSU, localizado em Candiota – RS, foram quantificadas vazões de tratamentos de resíduos, captura de metano e geração de energia elétrica proveniente da queima do biogás.

Em relação às emissões das mineradoras, foram consultadas as principais mineradoras da região (CRM e SSM) quanto a dados relativos à quantidade de carvão existente nos bancos de carvão e do tipo de mineração empregada. Na Figura 12 é apresentada uma mina de carvão em Candiota.

Figura 12 - Mina de Carvão em Candiota-RS



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração (2022)

Nas minas a céu aberto, em Candiota, a extração de lavra é do tipo *strip mining* (tiras consecutivas), ocorrendo a remoção do minério e do estéril, ao longo de cortes paralelos de pequena largura e grandes comprimentos. Em uma tira realiza-se a retirada do estéril sendo depositado na tira anterior, local onde já foi removido o minério (SOUZA, 2011).

Fatores como profundidade da camada de carvão, pressão e permeabilidade interferem na ligação metano-carvão. De acordo com Kuckartz (2014), entende-se que

há maiores concentrações de metano em minas subterrâneas quando comparadas com minas a céu aberto.

4.3 Proposição de uma forma de padronizar a quantidade total de gás metano emitido

A fim de quantificar as emissões totais de gás metano nas cidades de estudo se faz necessário a padronização entre as fontes geradoras. Da Silva (2018) numa projeção de 100 anos, comenta que o potencial de aquecimento global do dióxido de carbono é de 1 kg CO₂/kg CO₂ e do metano 34 kg CO₂/kg CH₄. Sendo viável expressar todos os gases do efeito estufa com base em CO₂-eq, utilizando a Equação 2:

$$E_{GM} = \sum GWP \times m_j \quad (2)$$

Onde:

E_{GM} é a emissão do gás metano (kg CO₂-eq/ano);

GWP é o potencial de aquecimento global do metano (kg CO₂-eq/kg de metano);

m_j é a quantidade de metano por fonte j (kg de metano/ano);

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes ao estudo de emissões de gás metano gerados na pecuária em Pinheiro Machado e emissões de gás metano em aterro sanitário e atividade de mineração na cidade de Candiota.

5.1 Quantificação da Geração De Metano por Tipo de Fonte

5.1.1 Pecuária

Foram levantados os dados em Pinheiro Machado quanto a totalidade de animais ruminantes. A cidade apresenta 2.859 mil propriedades rurais ativas, totalizando 254.237 mil cabeças de ruminantes. Estes divididos entre: bovinos, caprinos, equinos, ovinos e suínos. Esses dados, retirados do Sistema de Defesa Agropecuária (2022), estão apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Levantamento Relativo à Pecuária

Propriedades Ativas	Bovinos (cab.)	Caprinos (cab.)	Equinos (cab.)	Ovinos (cab.)	Suínos (cab.)	Animais (cab.)
2859	124544	2078	4908	121446	1261	254237

Fonte: Autora (2022)

Também foi levada em consideração a distribuição das práticas de pecuária intensiva e extensiva. Foi possível identificar a pecuária extensiva como a única prática executada na cidade. De acordo com o Sistema de Defesa Agropecuária (2022) não há registro de propriedade em sistema de confinamento (intensiva).

Na determinação da produção de gás metano na pecuária foi dividido em: emissão de metano por fermentação entérica e emissão de metano por dejetos.

De acordo com o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa realizado pela Embrapa no ano de 2010, cada espécie de ruminante possui fator de emissão para fermentação entérica (kg CH₄/cabeça/ano) distintos, havendo distinção dentro da espécie de bovinos, como dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Fator de Emissão para Fermentação Entérica por Animal

Animal	Fator de Emissão (kg CH₄/cabeça/ano)
Bovino (Fêmea)	84
Bovino (Macho)	58
Caprinos	5
Equinos	18
Suínos	1
Ovinos	5

Fonte: Adaptado de Embrapa (2010)

Tendo conhecimento dos fatores de emissão de metano de cada animal, juntamente com os dados de população de cada espécie foi possível quantificar a emissão por fermentação entérica, expressa em giga grama de metano por ano, usando a Equação 1. Os resultados podem ser observados na Tabela 4:

Tabela 4 - Emissão de Metano por Fermentação Entérica

Emissão na fermentação entérica (Gg CH₄/ano)					
Bovinos (Fêmeas)	Bovinos (Machos)	Caprinos	Ovinos	Suínos	Equinos
7,870	1,570	1,039. 10 ⁻²	6,072.10 ⁻¹	1,261.10 ⁻³	8,834.10 ⁻²

Fonte: Autora (2022)

Os animais também geram metano através de seus dejetos sendo assim foi consultado o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa os fatores de emissão por dejetos (Gg CH₄/ ano), como consta na Tabela 5.

Tabela 5 - Fator de Emissão de Metano por Dejetos

Animal	Fator de Emissão (kg CH₄/cabeça/ano)
Bovino (Fêmea)	1,3
Bovino (Macho)	1,5
Caprinos	0,17
Equinos	1,6
Suínos	3,9
Ovinos	0,16

Fonte: Adaptado de Embrapa (2010)

Para mensurar as emissões de metano por dejetos (Gg CH₄/ano), foi utilizada a Equação 1, levando em consideração o fator de emissão de cada animal e o total de animais de cada espécie. Os resultados estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Emissão de Metano por Manejo de Dejetos

Cálculo de emissão manejo de dejetos (Gg CH₄/ano)					
Bovinos (Fêmeas)	Bovinos (Machos)	Caprinos	Ovinos	Suínos	Equinos
1,22.10 ⁻¹	4,1.10 ⁻²	3,5.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻²	5.10 ⁻³	8.10 ⁻³

Fonte: Adaptado de Embrapa (2010)

4.3.1 Resíduos sólidos

Na cidade de Candiota, no que diz respeito às emissões geradas a partir do tratamento de resíduos sólidos, foram levantados os dados dispostos na Tabela 7, que foram fornecidos pela empresa Meioeste.

Tabela 7 - Dados Referentes ao Metano no Aterro Sanitário

Emissão de Metano em Aterro Sanitário		
Vazão de resíduos (ton/dia)	Vazão de captura de CH₄ (m³/h)	Geração de energia elétrica (Mw/h)
1000	1050	2

Fonte: Meioeste (2022)

Através dos dados da Tabela 6 foi encontrado para geração de metano no aterro sanitário de Candiota, um valor de $9,198 \cdot 10^3$ Gg CH₄.ano⁻¹.

De acordo com o Centro Universitário Metodista IPA, no Rio Grande do Sul o maior aterro sanitário, localizado em Butiá, gera 8 MW/h a partir do tratamento de 3600 ton/dia de resíduos sólidos.

A geração de energia elétrica através do metano está em ascensão no Brasil, por ser uma energia limpa, ou seja, reduz a presença de GEEs na atmosfera resolvendo um problema atual no tratamento de resíduos sólidos além de contribuir na matriz energética do país (ANDRADE, 2022).

5.1.2 Mineração

Em Candiota, foram coletados na literatura dados referentes à estimativa de emissões de metano através da mineração.

Para determinar a emissão do gás metano fugitiva da mineração, foi consultado o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2006), que quantifica as emissões de CH₄ (Gg CH₄) de cada mina levando em consideração: a produção do carvão mineral, fator de emissão da mina (m³ CH₄ /ton Carvão) e fator de conversão (Gg CH₄ /10⁶ m³ CH₄).

De acordo com Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, no ano de 2005, a quantidade de metano emitida foi de 49,140 Gg, considerando a mineração a céu aberto, mineração subterrânea e pós-mineração. As minas a céu aberto são responsáveis por apenas 1,8% das emissões (FAGUNDES; GOMES, 2010).

Na determinação de emissões de metano em atividades de mineração, em Candiota, foram encontrados na literatura os resultados dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Emissão de Metano na Mineração

Emissão de Metano na Mineração (Gg CH₄)	
CRM	Copelmi
0,334	0,002

Fonte: SNIEC (2006)

Os valores encontrados neste trabalho vão ao encontro do estudo realizado por Santarosa (2012), onde relata a baixa permeabilidade do carvão das minas no Rio Grande do Sul, não sendo viável economicamente a exploração.

As tecnologias de captura de metano na mineração subterrânea, que atualmente são aplicadas em vários países, ainda não foram implementadas no Brasil. Quanto à mineração de superfície (céu aberto) não foi encontrada na literatura tecnologia capaz de capturar o metano liberado durante a operação de lavra (SANTAROSA, 2012).

5.2 Padronização de Emissão de Gás Metano

A fim de estimar a totalidade de emissões de gás metano nas cidades de Candiota e Pinheiro Machado foi levado em consideração os resultados de emissões por tipo de fonte da pecuária, resíduos sólidos e mineração e aplicado na Equação 2.

Os valores encontrados quanto a Emissão do Gás Metano (EGM) estão dispostos na Tabela 9.

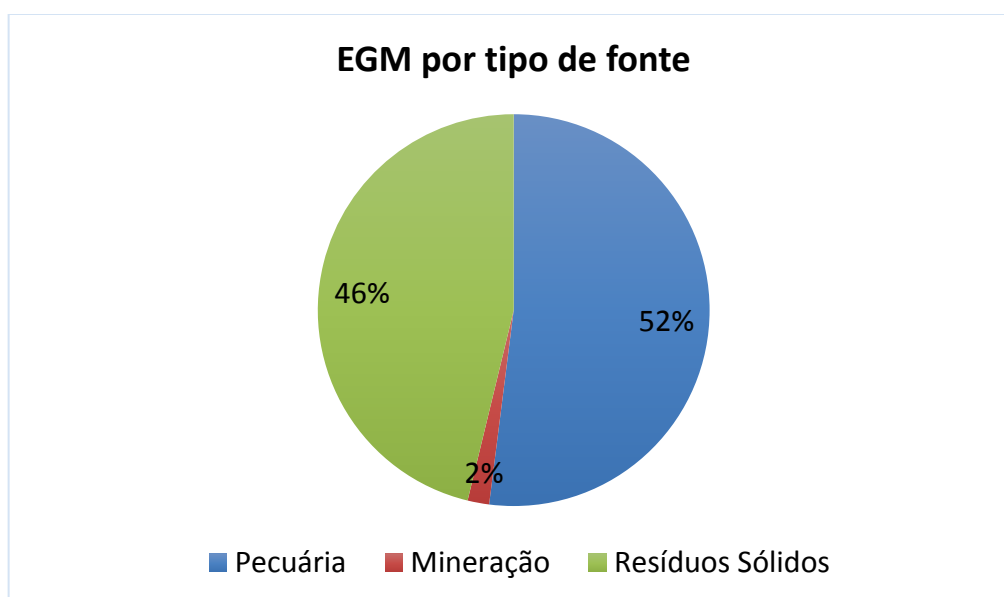
Tabela 9 - Emissão de Gás Metano por tipo de fonte

Fonte	Emissão de Gás Metano (kg CO₂-eq/ano)
Pecuária	351,92.10 ⁶
Mineração	12,036.10 ⁶
Resíduos Sólidos	312,732.10 ⁶

Fonte: Autora (2022)

No somatório das fontes foi encontrado para Emissão do Gás Metano (EGM) o valor de 676,68.10⁶ kg CO₂-eq/ano. Na Figura 13 se pode observar o quanto cada fonte geradora tem participação nas emissões totais na região de estudo.

Figura 13 - Distribuição de EGM por tipo de fonte



Fonte: Autor (2022)

Os resultados obtidos nesse estudo sustentam a atividade de pecuária como uma das principais matrizes emissoras de gás metano. De acordo com De Paula (2019), o setor ocupa a terceira posição quanto a maior fonte, responsável por 22% de todo gás presente na atmosfera. Por ser uma atividade fundamental para o país e com a convicção de tamanho impacto ambiental, o Brasil apresenta grande potencial de redução da emissão do gás metano através de melhorias na alimentação e na

genética dos animais resultam numa menor emissão de CH₄ durante o ciclo de vida do animal.

Quanto à captação de metano, principalmente de fonte entérica, os estudos ainda são novos e necessitam de melhoramento para implementação em grande escala, segundo Embrapa (2010).

5.3 Proposta para Trabalhos Futuros

Através dos resultados obtidos, foi comprovado que no tratamento de resíduos sólidos há grande nascente de gás metano. Sendo evidenciado a viabilidade de construção de novas células para expansão do aterro sanitário. Este ficará proposto para trabalhos futuros. No apêndice do trabalho foi realizado breve levantamento de projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação ao diagnóstico de fontes emissoras de metano foram apontadas a pecuária, os resíduos sólidos e a mineração como as principais nascentes do gás na região de estudo.

Através da quantificação das emissões por tipo de fonte, ficou evidente a viabilidade de nova construção de célula para prosseguir com tratamento de resíduos.

Quanto a emissões provenientes da pecuária, embora demonstre grande potencial, atualmente não há meio de captura de gás metano para animais em pastejo. Na mineração a céu aberto, as emissões aparecem em baixas concentrações. Atualmente, não existem relatos na literatura de captura de metano neste tipo de mineração.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carne. Relatório Perfil da Pecuária no Brasil. 2021. Disponível em:< <https://www.abiec.com.br/>>. Acesso em: Julho de 2022.

Atlas Econômico do Rio Grande do Sul. Suínos. 2022. Disponível em:< <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/suinos>>. Acesso em: Junho de 2022.

Atlas Econômico do Rio Grande do Sul. Bovinos. 2022. Disponível em:< <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/bovinos> >. Acesso em: Junho de 2022.

Atlas Econômico do Rio Grande do Sul. Ovinos. 2022. Disponível em:< <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/ovinos>>. Acesso em: Junho de 2022.

BARRY, R; CHORLEY, R. Atmosfera, tempo e clima. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERNDT, A. Impacto da Pecuária de Corte Brasileira sobre os Gases do Efeito Estufa. 2011.

BERNDT, A. Produção de Metano. Instituto de Zootecnia. APTA/SAA. Nova Odessa-SP, 2009.

BETTELHEIM, Frederico. UMA.; BROWN, Guilherme. H.; CAMPBELL, Maria. K.; FARRELL, Shawn. O. Introdução à química orgânica: Tradução da 9. ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016. 9788522126378. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522126378/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BONETTI, Beatriz et al. Caracterização e Emissão de Gases de Efeito Estufa Presentes em Minas Subterrâneas de Carvão no Sul do Brasil. 2017.

BORGES, M.E.; GUEDES, R.M. Aterro Sanitário – Planejamento e Operação. Viçosa: CPT, 2008.

BRAGA JUNIOR, Benedito PF et al. Introdução à engenharia ambiental. In: Introdução à engenharia ambiental. 2003. p. xi, 305-xi, 305.

BRAGA, Núbia Karla Mendes. Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida. 2018.

BROWN, T. A., BROWN. Bioquímica. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. 9788527733038. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527733038/>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CAMPANI, D. B; SCHNEIDER, P. S; XAVIER, F. M. Determinação do Poder Calorífico do Biogás Gerado em Aterros Sanitários. In: III Congresso Interamericano de Resíduos Sólidos de AIDS, Argentina, 2009.

CAREY, Francis. A. Química Orgânica. V1. Porto Alegre: Grupo A, 2011. 9788580550535. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580550535/>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CEMPRE. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: CEMPRE. 2018. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2022.

CEPAC-PUCRS. Relatório do Projeto Piloto para Avaliar o Potencial de CBM (coalbed methane) em camadas de carvão para produção de metano – Jazida de Charqueadas, RS, Bacia do Paraná. Porto Alegre, 2010.

CETESB. Metano. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/08/Metano.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2020.

COELHO, U. R.; MENDONÇA, P. M. M.; SILVA, S. T. S.; BARROS, R. M. . Biogás: aproveitamento energético e gestão ambiental em aterro sanitário. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.3, p.540-553, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0044>.

Coelho Alves Cristiano, Pablo. Um estudo de caso: o desenvolvimento da fronteira agrícola de cana-de-açúcar em goianésia-go, uma cidade média do centro-oeste brasileiro. 2011. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Companhia Riograndense de Mineração. Minas. Disponível em: <https://www.crm.rs.gov.br/minas>. Acesso em: 14 de jan. de 2022.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018.

COSTA, Gláucia dos Santos. Alterações nas características da água de produção em processo de injeção de CO₂ e recuperação de metano em camada de carvão. 2012. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

DALCIN, Gerson; MANGINI, Ligia Fernanda Kaefer; DE GODOI, Luciane. Química Ambiental e o impacto ambiental relacionado aos gases de Efeito Estufa. Caderno Intersaberes, v. 10, n. 27, p. 117-134, 2021.

D'ALMEIDA, Albino. L. Indústria do petróleo no brasil e no mundo. São Paulo: Blucher, 2015. 9788521208884. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208884/>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

DA SILVA, Mateus Guimarães. Avaliação do ciclo de vida do metanol produzido pela cogaseificação do carvão mineral e biomassa residual do arroz. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. 2018.

DE LIMA, M. A. et al. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. 2001.

DE PAULA, Kelvin Gabriel Sant Anna et al. Emissão de metano na pecuária: relação causa-efeito e mecanismos modulatórios. Pubvet, v. 13, p. 148, 2018

DE SENE, Guilherme Acácio et al. Práticas estratégicas com vistas à mitigação dos gases do efeito estufa na produção de bovinos a pasto.

DOS SANTOS, F. G. dos et al. Emissões fugitivas de biogás em camada de cobertura de solo compactado em aterro sanitário. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 2, p. 247–258, 17 abr. 2020.

DOS SANTOS, Fabiana Rodrigues. Gás de xisto como substituto do carvão mineral: uma diminuição real dos impactos ambientais?. 2017.

ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário. Delta de Campinas – SP. Campinas, 2003. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Universidade Estadual de Campinas. 2003.

EMBRAPA. Clima. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 10 de jan. 2022.

FAGUNDES, L.; GOMES, C.; Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético: Emissões Fugitivas na Mineração e Beneficiamento do Carvão Mineral. Associação Brasileira de Carvão Mineral, ABCM. 2010. 81p.

FERNANDEZ, M. B.;PINTO, L. F. S. Recuperação das áreas mineradas de carvão através da irrigação controlada de efluentes (chorume) provenientes do aterro sanitário metade sul de candiota/rs. 2020 Disponível em:<https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2020/CA_01856.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2022.

FERTILI. Agricultura e pecuária em Vitória da Conquista. 2022. Disponível em: <<https://fertili.com.br/diferenca-entre-pecuaria-intensiva-e-extensiva>>.

GALDINO, Glaumer Siqueira et al. Estudo de Caso: Aterro Sanitário do CPGRS-Operacionalização de Aterro Sanitário de acordo com a NBR 8419/1992. 2017.

GIACOBBO, DANIELA GARCIA; FROTA, LEANDRO MELLO. Agro: O Papel do Agronegócio Brasileiro nas Novas Relações Econômicas Mundi. Synergia, 2021.

GOOGLE MAPS. 2022. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/dir/Candiota,+RS/Pinheiro+Machado,+RS,+96470-000/@-31.5221811,-53.6878146,11z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x95058b96586f3f8f:0xe1d6419a936ab384!2m2!1d-53.6759289!2d-31.560431!1m5!1m1!1s0x950f82992d08e2d1:0xb69cd52e1fc8e5d7!2m2!1d->

53.3817586!2d-31.5795804!3e0>. Acesso em: 22 fev. 2022.

GRAHAM, Solomons T. Química Orgânica. V. 1. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. 9788521635536. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635536/>>. Acesso em: 13 jan. 2022.

HOOK, S. E.; WRIGHT, A.D; MCBRIDE, B. W. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 945785, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2010/945785>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

IBRAHIN, Francini Imene Dias. Análise ambiental: Gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes. Saraiva Educação SA, 2015.

IBRAHIN, FRANCINI IMENE DIAS. Educação Ambiental: Estudo dos Problemas, Ações e Instrumentos. Saraiva Educação SA.

Instituto Brasileiro de Florestas. Bioma Pampa. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-%20pampa?utm_source=googleads&utm_medium=cpc&utm_campaign=biomas&keyword=bioma%20pampa&creative=320586884144&gclid=CjwKCAiA4KaRBhBdEiWA Zi1zziv_aMi3wsfCIWqFX9aD32elzoBPQSskyutqFcfTylVrk1q3dMgOBoCIM0QAvD_B wE>. Acesso em: 20 jan.2022

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/pinheiro-machado.html>>. Acesso em: Janeiro de 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. Pecuária. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/18/16459>. Acesso em: Janeiro de 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/pinheiro-machado.html>>. Acesso em: Janeiro de 2022.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa. Módulo 6: Lixo. V. 2: Livro de trabalho, 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

IPCC. Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom, 2007. 996p.

JESPERSEN, D; ALISON, N. H. Química - A Natureza Molecular da Matéria - V. 1, 7. ed. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2017. 9788521633969. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521633969/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

KISSEL, F. N. Facts about methane that are important to mine safety. Handbook for Methane Control in Mining. Pittsburgh, 2006. 184p.

KUCKARTZ, Silvia Fernanda Rodrigues Viégas. Estudo de métodos de coleta e análise de metano em gás de mina de carvão subterrânea. 2014. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

LOBATTO et al. 2009. Dirigindo o olhar para o efeito estufa nos livros didáticos de ensino médio: é simples entender esse fenômeno? Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/epec/a/MZg95MPM66H5S5qjWJy3nQw/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

LOCASTRO, J.K.; ANGELIS, B.L.D. Barreiras de Impermeabilização: Configurações Aplicadas em Aterros Sanitários. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v.20, n°. 1, p. 200-210, jan/abril. 2016.

Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

MATTEI, Taíse Fátima; Da Cunha, Marina Silva. Emissão de gases do efeito estufa no Brasil: análise de curto e longo prazo. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8809/6794>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

MCMURRY, John. Química Orgânica - Combo: Tradução da 9. ed. norte-americana . São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016. 9788522125876. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522125876/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

MEISTER N. C. Produção de metano em caprinos sob pastejo. 2013 Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106615/meister_nc_dr_jabo.pdf?sequence=1 Acesso em: 01 de julho de 2022.

MELLER, Guilherme. S.; OLIVEIRA, Karina. F.; STEIN, Ronei. T.; et al. Controle da Poluição. Porto Alegre: Grupo A, 2017. 9788595021150. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595021150/>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

MIGUEZ, J. D. (eEd.). Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397p. Cap. 7, p.169-189.

MIHELIC, J. R; ZIMMERMAN, J. B. Engenharia ambiental: fundamentos, sustentabilidade e projeto. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Ministério do Meio Ambiente. Pampa. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/pampa>>. Acesso em: Janeiro de 2022.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. Revista brasileira de climatologia, Curitiba, v. 3, 2008.

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 4. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2006.

NASCIMENTO, Maria Cândida Barbosa et al. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, p. 143-155, 2019.

OLIVEIRA, E. R. de et al. Bioprodutos do cerrado: alternativas alimentares na redução da emissão de metano em bovinos – estudo de caso. Agrarian, v. 7, n. 24, p. 369– 381, 12 jun. 2014.

ORSINI, C.; DE SOUSA, M. Política Nacional dos Resíduos Sólidos: uma busca pela a redução dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). v. 7, n. 3, 2012.

PAMPA. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/pampa.html>><<https://antigo.mma.gov.br/biomas/pampa.html>>. Acesso em: 17 dez. 2021.

Panorama dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <<https://jovempan.com.br/programas/jornal-da-manha/producao-de-lixo-cresce-acima-da-media-na-pandemia-aponta-estudo-inedito.html>>.

PASQUALINI, Alexandre Antônio. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. Revista Faculdades do Saber, v. 5, n. 09, 2020.

PEDREIRA, S.M; PRIMAVESI, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds.) Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 497-511.

PEREIRA, SANTOS, .Ana. S. Engenharia e Meio Ambiente - Aspectos Conceituais e Práticos . Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. 9788521637523. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637523/>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

PEROTTI, Nathalia. Estudo da Atenuação da Concentração de Poluentes em Lagoas de Estabilização Tratando Lixiviado de Aterro Sanitário. 2020.

PIÑAS, J.A.V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C. Aterros Sanitários para Geração de Energia Elétrica a partir da Produção de Biogás no Brasil: Comparação dos Modelos Landgem (EPA) e Biogás (Cetesb). Revista Brasileira de Estudos de População [online], Rio de Janeiro, v.33, n°.1, p. 175- 188, 2016.

PINOTTI, Rafael. Educação ambiental para o século XXI. 2. ed. São Paulo: Blucher Blucher, 2016. 1 recurso online ISBN 9788521210566.

ReCESA. Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Guia do Profissional em Treinamento: Nível 2 - Ministério das Cidades. Cartilha. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). Belo Horizonte, 2008.

RESENDE, L. D. O. Certificação da Neutralização do Metano Entérico. 2016.

RIBEIRO et al., 2017. Hidropirólise do carvão mineral da jazida de candiota/rs. Disponível em:<<http://www.swge.inf.br/ANAIS/CBCM2017/PDF/CBCM2017-0076.PDF>>. Acesso em: 7 jan. 2022.

ROBERTA DE FRANÇA SOARES ALVES, Ingrid. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

RUFINO, D. C. Biogás: o aproveitamento energético do gás metano gerado em aterros sanitários. 2018.

SAMARINI et al. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/895247>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SANTAROSA, Cristian Sartori et al. Potencial da jazida de Charqueadas para o armazenamento geológico de CO₂ e produção de gás natural utilizando parâmetros petrofísicos e testes de adsorção. 2012.

SANTOS, DIOMAR LOPES DOS. Análise e dimensionamento de aterro sanitário para as cidades de Silvânia e Vianópolis. 2019.

SANTOS, P, R, D. ; CORADESQUI, S. 2013. Análise de Viabilidade Econômica da Produção de Shale Gas: Um Estudo de Caso em Fayetteville – Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA. Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SCHREIBER, A. T. Captação e Utilização do Metano Presente no ar de Minas de Carvão, com Benefícios para a Segurança da Mineração e para a Redução de Gases de efeito Estufa. 2013.

SCHWAMBACH, Cornélio.; SOBRINHO, Geraldo. C. Fisiologia Vegetal - Introdução às Características, Funcionamento e Estruturas das Plantas e Interação com a Natureza. São Paulo: Saraiva, 2014. 9788536521572. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521572/>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SEBRAE. Perfil das Cidades Gaúchas. Pinheiro Machado. 2020. Disponível em:<https://datasebrae.com.br/municipios/rs/Perfil_Cidades_Gauchas-Pinheiro_Machado.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2022.

SILVA, C.L; BRAZ, J. A. Aproveitamento energético do gás de aterro sanitário na produção de frio. In: XXVIII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, México, 2002.

SILVA, W. K. A. S.; TAGLIAFERRO, E. R. Aterro sanitário - a engenharia na disposição final de resíduos sólidos Landfill - engineering in the final disposal of solid waste. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 12216–12236, 8 fev. 2021.

SKIFERGAS. En gevinst for klimaet? Disponível em:<https://concito.dk/files/dokumenter/artikler/skifergasrapport_010213_0.pdf>https://concito.dk/files/dokumenter/artikler/skifergasrapport_010213_0.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2022.

SOARES, C. O.; DE ALMEIDA, Roberto Giolo. Descarbonização da pecuária. 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1118355/1/Descarbonizacaodapecuaria.pdf> Acesso: 17 jun. 2022.

SOUZA, Gutto Freire. Plano de fechamento de mina-método de lavra em tiras (strip mining). 2011.

SOLOMONS, T. W. G. Química Orgânica – V. 1. Grupo Editorial Nacional: Grupo GEN, 2018. 9788521635536. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635536/>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SIGNOR, Diana; DE MORAES, Salete Alves. Emissão de gases de efeito estufa em sistemas produtivos no Nordeste brasileiro. 2021.

Sistema de Defesa Agropecuária. 2022. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/sistema-de-defesa-agropecuaria-sda>. Acesso em: Junho de 2022.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTLE, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. 2006, Livestock's long shadow: environmental issues and options, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SU, S. et al. Fugitive coal mine methane emissions at five mining areas in China. Atmospheric environment. V. 45, 2220-2232, 2011.

UNEP. As emissões de metano estão impulsionando a mudança climática. Disponível em:<<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/emissoes-de-metano-estao-impulsionando-mudanca-climatica-veja>>. Acesso em: Julho de 2022.

UNIDERP. Universidade de Campo Grande. Disponível em: <<https://blog.uniderp.com.br/pecuaria-extensiva-e-intensiva/>><https://blog.uniderp.com.br/pecuaria-extensiva-e-intensiva/>>. Acesso em: 12 de jan. 2022.

VIANNA, Anderson M. Poluição ambiental, um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. Revista Sustinere. Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 22-42, jan-jun de 2015.

VIEIRA, Cícero Fernandes A. et al. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. Revista Tecnologia, v. 29, n. 1, 2008.

VOLLHARDT, Peter.; SCORE, Neil. E. Química Orgânica. Porto Alegre: Grupo A, 2013. 9788565837323. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837323/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

ZOTTI, C. A.; VALDINEI, Paulino T. Metano na produção animal: Emissão e minimização de seu impacto. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.iz.agricultura.sp.gov.br/pdfs/1259324182.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

APÊNDICE

Ampliação do Uso de Biogás

Com base nos resultados obtidos e viabilidade de captação, é recomendada a ampliação do tratamento de resíduos sólidos, através de construção de uma nova célula, visto que a cidade de Candiota dispõem de áreas pós-mineradas que podem ser utilizadas para essa finalidade.

Galdino (2017) relata que na NBR 8419 descritos na ABNT (1992), o sistema de drenagem superficial deve conter itens como: indicação da vazão de seleção do sistema; o *layout* do canal plano, com proporção não inferior a 1:1000; indicação da seção transversal e declive do fundo do canal em todas as seções; uma descrição do tipo de revestimento do canal (se houver) e os materiais usados; indicação do local onde é despejada a água captada pelo canal, etc.

De acordo com Santos (2019) o sistema de drenagem também é útil para receber e afastar as águas que caem diretamente sobre ele, sendo que deve ser respeitado um período de retorno de, no mínimo, 5 anos.

Com o objetivo de recolher a água da chuva e evitar possíveis infiltrações devem ser utilizado um sistema de drenagem superficial do tipo colchão Reno, como o da Figura 14.

Figura 14 - Sistema de Drenagem



Fonte: Deflor Bioengenharia (2022)

Captação e tratamento do percolado

A fim de evitar que águas pluviais atinjam o aterro sanitário é recomendado a presença de valetas ou canaletas em volta de todo o aterro. De acordo com Obladen

(2009). Os líquidos percolados, líquido turvo e mal cheiroso proveniente da mistura de resíduo e água, devem ser coletados e removidos para evitar a contaminação do aterro e lençol freático. Moraes (2018) cita a importância da remoção do percolado para evitar a entrada deste volume de água nas trincheiras, propiciando a retirada rápida dela no local dos resíduos, impedindo a geração de poças d'água e solo com muita umidade. É recomendado declividade de 1% no mínimo em todos os pontos, favorecendo o transporte por gravidade até os tanques, onde podem ser removidos.

No projeto deve ser previsto um sistema de tratamento do percolado que irá atender itens citados na norma NBR 10157, sendo alguns deles: ser projetado, construído e operado de forma que seus efluentes atendam aos padrões de emissão e garantam a qualidade do corpo receptor; ter efluentes monitorados pelo menos quatro vezes ao ano.

O volume de percolado manifesta-se ao longo do tempo, conforme a disposição dos resíduos nas células. Entende-se que a célula funciona como um reservatório, enquanto houver capacidade em reter líquido não liberará para outras camadas (CEMPRE, 2018).

A estação de tratamento de percolado está disposta na mesma área do aterro sanitário. O sistema de estabilização de tanques é de entendimento simples, podendo ser alterado de acordo com a operação e as necessidades da área (CETESB, 1990).

Para redução de carga orgânica e assim atender os parâmetros necessários para ser lançado nos corpos hídricos, de acordo com Perotti (2020), o sistema de tratamento do percolado onde logo após ser capturado, o percolado deve passar por processos de tratamento, como: sistema de lagoa desestabilização, filtro biológico, pré-tratamento, reciclagem, entre outros.

Na Figura 15 tem-se a representação do tratamento de percolado em aterro sanitário na cidade de Candiota-RS.

Figura 15 - Tratamento de Percolado em Aterro Sanitário



Fonte: Meioeste (2022)

Impermeabilização

A finalidade da impermeabilização é objetivo a proteção ao ambiente contra os contaminantes que são gerados pelos líquidos dos resíduos depositados, denominados chorume ou lixiviados. Quando não há esse isolamento, é provável que os resíduos, águas subterrâneas e superficiais adjacentes ao local de disposição, entrem em contato com o solo (LEME, 2013). De acordo com Feldkircher (2008), existem algumas barreiras impermeabilizantes sendo elas de vários tipos, como a geomembrana PEAD (polietileno de alta densidade), resistente aos meios agressivos. O polímero mais utilizado mundialmente e atende os mais exigentes regulamentos internacionais de proteção ambiental, fatores econômicos, facilidade na instalação e soldagem. Atua principalmente como barreira impermeável para controlar infiltração, percolação ou fluxo de água e/ou percolado.

Bastante utilizado em aterros sanitários e em obras civis, outro meio impermeabilizante é a argila compactada. Os solos argilosos, de acordo com Rocca (1993), são usados como meio de proteção ambiental por terem propriedades físicas, biofísicas, bioquímicas, geoquímicas que atuam como mecanismos capazes de reterem os elementos poluentes que o permeiam.

Drenagem do gás

Quando esgotada a capacidade da célula de receber mais resíduos, esta deve ser selada. Para a selagem da célula, coloca-se uma camada de recolha de gases, seguindo-se de uma camada impermeabilizante, após emprega-se uma camada de drenagem de águas pluviais composta por brita. Deposita-se em seguida uma camada de cobertura com subsolo, e, por fim, uma camada de top-solo de 1 m, que é camada de solo arável recuperada de escavações (BORGES e GUEDES, 2008).

Cempre (2018) comenta que no aterro ocorre a decomposição química e microbiológica dos resíduos, onde são produzidos o chorume e gás de aterro. O chorume é um líquido escuro, viscoso, com forte odor, com DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) aproximada de 19.000 mg/L, bem mais concentrada por exemplo, que a do esgoto que tem ordem de 400 mg/L. Tende a se acumular no fundo do aterro podendo a infiltrar-se no solo e contaminar o lençol freático, por isso é fundamental um sistema de drenagem.

O gás de aterro produzido é composto principalmente pelo gás metano e dióxido de carbono, e tende a se acumular na parte superior das células, devendo haver um sistema de drenagem do gás para queima ou reutilização (BRAGA *et al.*, 2005). Esse sistema realizará a captura do gás que posteriormente na planta de aproveitamento será combustível para geração de energia.