



SOFIA LASMAR LIMA OLIVEIRA

**Emissões de gases de efeito estufa para o município de Coqueiral, Minas Gerais
no ano de 2019**

LAVRAS – MG

2022

SOFIA LASMAR LIMA OLIVEIRA

**Emissões de gases de efeito estufa para o município de Coqueiral, Minas Gerais
no ano de 2019**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho

Orientador

Prof. Dra. Luciana Figueiredo Prado

Coorientadora

LAVRAS – MG

2022

SOFIA LASMAR LIMA OLIVEIRA

**Emissões de gases de efeito estufa para o município de Coqueiral, Minas Gerais
no ano de 2019**

GREENHOUSE GASES EMISSIONS FOR COQUEIRAL, MINAS GERAIS IN 2019

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de
Bacharel.

Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho UFLA
Dra. Luciana Figueiredo Prado UNB
Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato – EPAMIG
Dra. Jaqueline Severino da Costa UFLA

Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho
Orientador

Prof. Dra. Luciana Figueiredo Prado
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2022**

Aos meus pais, Rossano e Adalgisa, às minhas avó, tia e irmã, Nilza, Shirley e Luísa. Meus maiores apoiadores nesta jornada e exemplos de respeito, amor e humildade.

Dedico.

RESUMO

As informações do último relatório do IPCC - AR6 indicam os crescentes efeitos das mudanças climáticas e a necessidade de diagnosticar e planejar estratégias de mitigação e adaptação aos seus efeitos. Sendo assim, este trabalho possui objetivo de quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), no ano de 2019, no município de Coqueiral, no Sul de Minas Gerais. Este trabalho adota como base metodológica o Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC) e os cálculos do Programa Brasileiro GHG Protocol. Ambas as iniciativas têm como origem o Greenhouse Gas Protocol, originário de uma parceria entre o World Resources Institute (WRI) e o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), com a contribuição da Fundação Getúlio Vargas (FGV) para adaptação do método ao contexto brasileiro. Tais modelos possuem uma mesma estrutura, sendo que o GPC permite uma definição de abrangência dos cálculos e o GHG Protocol trabalha com entradas e saída das emissões. Assim, as atividades desempenhadas no município foram categorizadas em 5 grupos principais: Energia Estacionária, Transporte, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) e Agricultura, Silvicultura e Outros Usos de Solo (AFOLU). Estas atividades foram enquadrados em 3 escopos, nomeados em 1, 2 e 3 que incluíram, respectivamente, emissões dentro dos limites do município, emissões em consequência da utilização de energia e emissões fora dos limites do município. Os GEEs quantificados foram Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) e Óxido Nitroso (N₂O). Após a definição dos limites e coleta dos dados necessários, os cálculos de emissões foram realizados utilizando fator de emissão. Por fim, obteve-se o total gerado por tipo de GEE no ano de 2019, que ao ser multiplicado pelo Potencial de Aquecimento Global (GWP, em sua sigla em inglês), resultou em total de $2,72 \times 10^4$ toneladas de CO₂equivalente. Sendo que 65% destas emissões estão relacionadas às Atividades ligadas ao setor da Agricultura. Além disso, constatou-se comparações entre os resultados deste trabalho e os dados de *input* dos modelos climáticos utilizados como base para o AR6.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Inventário de Gases de Efeito Estufa; Programa Brasileiro GHG Protocol.

Sumário

PRIMEIRA PARTE	7
1. INTRODUÇÃO	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1. Ciclo Global do Carbono	8
2.2. Efeito Estufa e Mudanças Climáticas	10
2.3. IPCC	12
2.4. Sexto Relatório de Avaliação (AR6) e o CMIP6	13
2.5. GHG Protocol e GPC	15
2.6. Atividade, Recurso e Fator de Emissão	17
SEGUNDA PARTE	22
ARTIGO – Emissões de gases de efeito estufa a nível municipal e comparação mundial: caso de Coqueiral, Minas Gerais	22
REFERÊNCIAS	37
CONCLUSÃO GERAL	40
APÊNDICE 1 - FONTES DOS DADOS	41

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

Verão, outono, inverno e primavera. As quatro estações estão na literatura, na física e na música. Mas há alguns anos, estudos vêm mostrando que o clima está mudando e as estações já não são mais as mesmas. Uma pesquisa recente do *South China Sea Institute of Oceanology* (2021) indicou aumento da duração do verão de uma média de 78 para 95 dias, no Hemisfério Norte, entre 1952 e 2011. A longo prazo, os efeitos serão ainda mais visíveis e em 2100 o inverno poderá durar menos de 2 meses (Wang, 2021). Nos próximos 30 anos, o mundo passará por estações quentes e prolongadas, com mais ondas de calor e menos extremos de frio, afetando o clima, os solos, os oceanos e toda vida na Terra (IPCC, 2021).

Os grupos de trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) realizam, desde 1990, uma avaliação dos trabalhos científicos sobre o tema em todo o mundo. O resultado é um relatório, em três volumes, divulgado a cada 7 anos, que abrange o cenário atual, faz previsões dos impactos e riscos futuros e das opções de mitigação e adaptação às consequências climáticas (MCTI, 2021).

Na sua primeira publicação (AR1), o IPCC (1990) divulgou uma previsão que a média global do nível do mar subiria entre 3 e 10 cm por década, principalmente devido a expansão térmica dos oceanos e derretimento de geleiras. E dizia ainda que *“a previsão é de um aumento de cerca de 20 cm na média global do nível do mar até 2030, e 65 cm até o final do próximo século”*. Em 2021, com a divulgação do AR6, Sexto Relatório de Avaliação, pelo Grupo de Trabalho 1 (*Working Group 1*, WG1), foi afirmado que o nível do mar subiu 20 cm entre 1901 e 2018. A sucessão de relatórios não só vem ampliando a precisão das probabilidades de acontecimentos, mas também mostrando que é inequívoco que mudanças do clima rápidas e disseminadas pelo mundo estão acontecendo (Observatório do Clima, 2021; IPCC, 2021).

Somente o que é mensurável, é manejável. Para buscar a mitigação e adaptação necessária para a sobrevivência da vida aos impactos do aquecimento global, organizações ao redor do mundo vêm desenvolvendo metodologias para quantificação das emissões de gases de efeito estufa, como ponto de partida. Além disso, a 26ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP26) que aconteceu em Glasgow, na Escócia (2021) reafirmou o importante papel das cidades e regiões, conforme dito pelo presidente do Comitê das Regiões Europeu (CoR, 2021), Apostolos Tzitzikostas: *“Não podemos mais ignorar o papel fundamental de cada região, ou continuaremos a falhar com nossos jovens e com nosso planeta”*.

No Brasil, estudos que envolvem estimativas de emissão de GEE em nível local são escassos,

devido à multidisciplinariedade e complexidade do assunto. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo de quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), no ano de 2019, no município de Coqueiral, no Sul de Minas Gerais. Este trabalho adota como base metodológica o Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC) e os cálculos do Programa Brasileiro GHG Protocol (PBGHGP) e o Protocolo Global de Inventário de Gases de Efeito Estufa em Escala Comunitária (GPC), a fim de relacionar os resultados com os fatos expostos no Sexto Relatório de Avaliação do IPCC). Ambas as iniciativas têm como origem o Greenhouse Gas Protocol, originário de uma parceria entre o World Resources Institute (WRI) e o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), com a contribuição da Fundação Getúlio Vargas (FGV) para adaptação do método ao contexto.

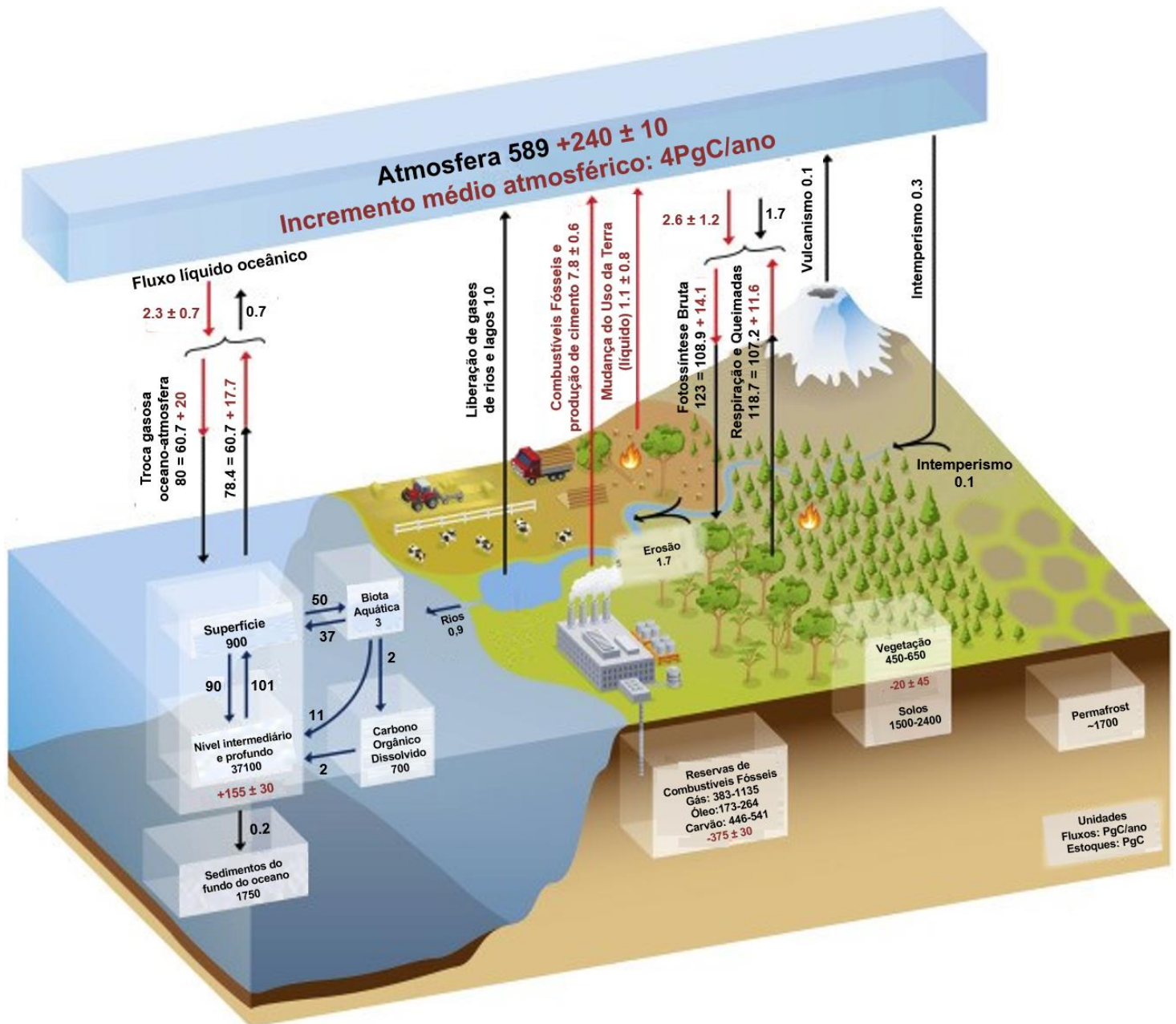
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Ciclo Global do Carbono

A atmosfera da Terra é composta, em volume de ar seco, em cerca de 78,09% de nitrogênio, 20,95% de oxigênio, 0,93% de argônio e 0,03% de outros gases, onde está incluído o carbono, em forma de dióxido de carbono (CO_2) - principal forma encontrada na atmosfera - e também como metano (CH_4) e monóxido de carbono (CO) (NASA, 2019). Apesar desta quantidade ser relativamente baixa, o carbono desempenha diversos importantes papéis na atmosfera e na natureza em sua totalidade, o que pode ser explicado através do Ciclo Global do Carbono, um ciclo natural que demonstra as interações dos diferentes tipos de carbono encontrados nos solos, água e ar. Os principais componentes deste ciclo, assim como os fluxos e reservas, podem ser observados na Figura 1.

Figura 1: Ciclo Global do Carbono, mostrando fluxos e reservas de carbono. (Do autor, 2022; Adaptado JONES, 2021; IPCC, 2013; PRATHER et al., 2012). 1 bilhão toneladas de carbono

(1GtC), é o mesmo que 1 Petagrama de carbono (1 PgC).



O ciclo do carbono é um sistema altamente dinâmico, por isso as trocas entre as reservas são constantes (JONES, 2021). Na figura 1, as setas em vermelho indicam a contribuição dos seres humanos para a perturbação do ciclo. Em preto, estão identificados os processos naturais, como o vulcanismo e o intemperismo, processo de envelhecimento das rochas e solos, que resulta em desgaste e transformação destes meios, tendo como principais fatores o clima e o relevo (LEPSCH,2011). As setas em azul, mostram as transferências entre águas superficiais e profundas.

Os meios diretos para liberação de CO₂ à atmosfera, da direita para a esquerda, são: vulcanismo, respiração e queimadas, mudanças no uso do solo, uso de combustíveis fósseis e

produção de cimento, liberação de gases em água doce e trocas gasosas com o oceano. Uma vez que estes processos contribuem para a regulação do clima da Terra (CIAIS et al., 2013), é possível perceber como as atividades humanas são passíveis de influenciar este ciclo e modifica-lo.

Ainda sobre a figura 1, as principais injeções de CO₂ relacionadas às atividades humanas são feitas através de queima de combustíveis fósseis e desmatamento, que totalizam cerca de 8,9PgC. Quando somadas aos processos naturais, o resultado é de 11PgC. Por outro lado, quando somados os valores de captura de carbono, o total encontrado é de 6,6PgC. Por isso, a conclusão é um aumento atmosférico médio de 4,4PgC anual. Sendo que, segundo o Sexto Relatório do IPCC (2021), cada 1000 PgC de emissões cumulativas de CO₂ provavelmente causará um aumento de 1,0°C a 2,3°C na temperatura da superfície global da Terra, com uma melhor estimativa de 1,65°C.

Um estudo da Nasa (2020) sobre Mudanças Climáticas indica que os níveis de CO₂ provenientes de atividades humana estão crescendo cerca de 250 vezes mais rápido do que aumentavam após a última Era Glacial, a partir de fontes naturais. Em 1950, com a Revolução Industrial, atingiu valores acima de 400 ppm, sendo que anteriormente, por milênios, nunca havia ultrapassado a marca de 280 ppm.

2.2. Efeito Estufa e Mudanças Climáticas

O Efeito Estufa é um dos fenômenos afetados com as alterações no ciclo global do carbono (NASA, 2020). Ele é um fenômeno natural, que impede a liberação de todo o calor gerado e absorvido pela Terra de volta ao espaço, o que permite a vida na Terra. Sem ele, a temperatura média do planeta seria em torno de -15°C e não existiria água na forma líquida, nem vida (NCAR; UCAR, 2021).

A razão da Terra se manter em uma temperatura média acima de 17°C é o efeito estufa, que é o resultado da interação entre a energia irradiada pelo Sol, a superfície terrestre e uma camada de gases presente na estratosfera, composta por gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarbonetos (CFCs), ozônio (O₃), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluorsulfúrico (SF₆) e vapor de água (H₂O) (TUCKETT, 2018).

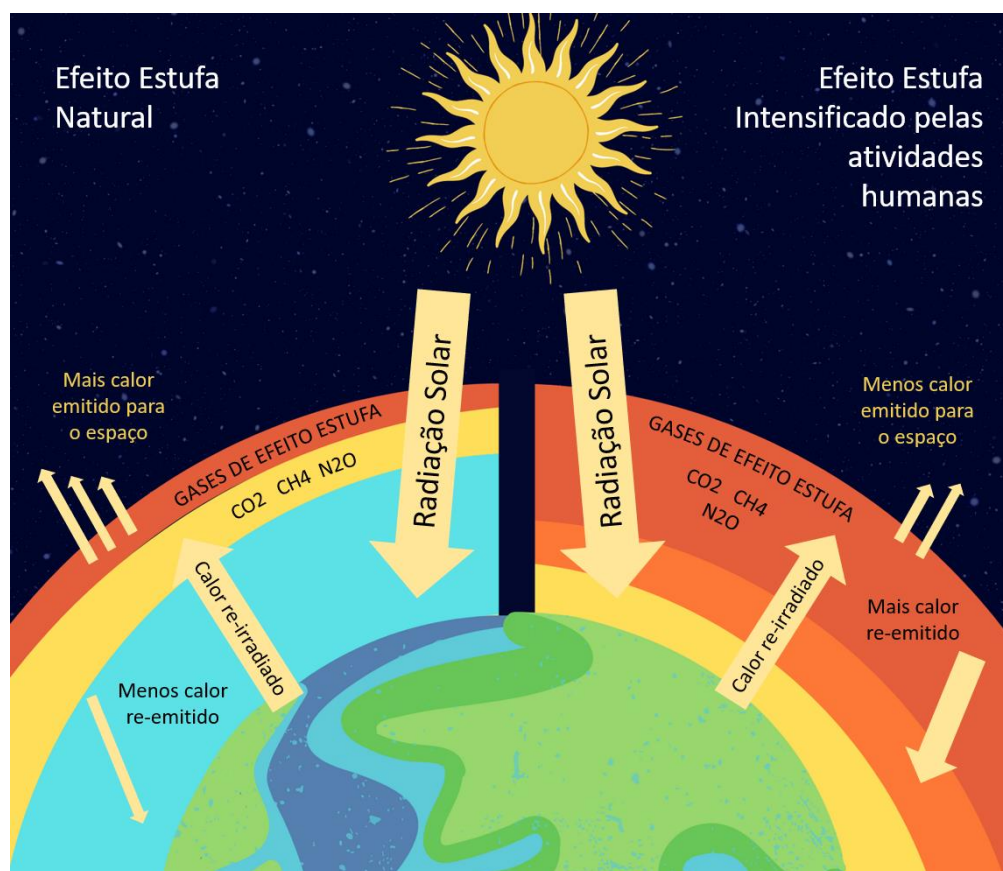
A radiação solar traça dois caminhos ao atingir o planeta: uma parte é diretamente refletida ao espaço e a outra parte é absorvida pela superfície e oceanos. Sendo que a energia absorvida é transformada em calor pelos componentes da Terra e irradiado na condição de raios infravermelhos, principal frequência de onda retida pelos gases de efeito estufa (GEE), provendo o aquecimento da atmosfera (MACHADO, 2019; MATTOS, 2001).

Este acontecimento se torna um problema à medida que a concentração de GEE na atmosfera aumenta expressivamente, intensificando, portanto, a retenção de ondas eletromagnéticas na banda do infravermelho (Figura 2). Isso gera um desequilíbrio no sistema terrestre, que por sua

vez, pode alterar o balanço radiativo terrestre, culminando nas mudanças climáticas, com impactos na vida de todos os seres que habitam a Terra. Dentre os eventos com maior magnitude, cabem citar: o degelo, o aumento do nível do mar, eventos extremos de calor (secas-ondas de calor, climáticos sem precedentes ainda no presente). Há probabilidade de vários eventos extremos simultâneos ou sequenciais com 2°C ou mais de aquecimento, afetando, por exemplo, regiões produtoras de alimentos (IPCC, 2021).

É inequívoco que o homem tem contribuído para a intensificação do efeito estufa. De 1,09°C de aquecimento observado atualmente (2011-2020), em comparação com o período pré-industrial (1850-1900), 1,07°C provavelmente deriva de atividades humanas (IPCC, 2021).

Figura 2: Comportamento dos raios de calor durante o Efeito Estufa Natural e o Efeito Estufa após intensificação por atividades humanas. (Do autor, 2022; Adaptado National Park Service, 2012).



Com expectativas de reverter os danos potenciais causados pelo incremento do efeito estufa, como os citados anteriormente, alguns acordos internacionais vêm sendo firmados, sendo que o primeiro deles foi em 1992, quando na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, 37 países industrializados e a União Europeia assinaram o Protocolo de Quioto e se comprometeram a reduzir as emissões de gases de efeito estufa para uma média de 5% em relação

aos níveis de 1990. O protocolo indica os seguintes gases como GEE: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbonetos (PFCs), Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) (UNFCCC, 2002). Assim, estes são os considerados pela metodologia GHG Protocol para contabilização em inventários de gases de efeito estufa.

Ao que se refere à Brasil, a contribuição do País para a diminuição do avanço das mudanças climáticas está atrelada aos acordos firmados nas convenções internacionais. Em 2015, o Brasil assinou o Acordo de Paris, comprometendo-se a reduzir suas emissões de GEE em até 37%, comparados aos níveis emitidos em 2005, até 2025; sendo estendido para 43%, até 2030. Para tanto, as ações se concentrarão em investimentos em energia renovável e reflorestamento, com uma meta de alcançar uma participação de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética brasileira e restaurar 12 milhões de hectares de florestas (NDC do Brasil, 2016).

A NDC (2016) prevê ainda, que o país reduzirá 66% das emissões em gases de efeito estufa por unidade de PIB (tCO₂e (GWP-100; IPCC AR5)/GDP (1000 US\$₂₀₀₅).), em 2025 e em 75% em 2030, ambas em relação a 2005. As ações de mitigação acompanham pesquisas internacionais, compiladas e publicadas pelo IPCC, o qual divulga os maiores avanços em termos de conhecimento em mudanças do clima e o principal aliado dos tomadores de decisão na hora do planejamento das metas e planos climáticos.

2.3. IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), é um comitê internacional criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization*, WMO) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environmental Program*, UNEP). Atualmente é composto por 195 membros (IPCC, 2022), mas milhares de pessoas do mundo todo contribuem para o trabalho da organização. O objetivo principal do IPCC é avaliar periodicamente o nível de conhecimento científico sobre as mudanças do clima. Essas avaliações são publicadas na forma de “Relatórios de Avaliação” (AR, em inglês).

Para tanto, cientistas voluntários analisam milhares de artigos publicados ao redor do globo, se dividindo em três grupos, chamados *Working Groups* (Grupos de Trabalho):

- Grupo 1 (WG1): analisa a base física (as causas) das mudanças do clima;
- Grupo 2 (WG2): trata dos impactos, vulnerabilidades (os pontos com maiores consequências) e adaptação;
- Grupo 3 (WG3): lida com a mitigação (as soluções).

Desde 1990, quando foi publicado o primeiro Relatório de Avaliação, de 6 em 6 anos o IPCC

divulga esse relatório, no intuito de direcionar as políticas públicas e tornar público todo o conhecimento, tanto no objetivo de alertar a população, como para a ciência de todos. E é por isso também que os relatórios são abertos e transparentes, e contam inclusive com a contribuição dos tomadores de decisão (IPCC, 2022).

2.4. Sexto Relatório de Avaliação (AR6) e o CMIP6

Entre 2021 e 2022, o IPCC está publicando seu mais recente Relatório de Avaliação, o sexto da série, chamado de *Sixth Assessment Report* (AR6). Uma vez que o IPCC trata de ciência e cenários futuros, a forma como acontecimentos futuros são demonstrados é através de probabilidade, ou seja, o painel divulga as incertezas inerentes a fatos, observações e fenômenos futuros, como consequência das mudanças do clima. Para isso, o reporte se baseia em simulações de modelos climáticos a partir do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP), sendo que o AR6 possui uma nova série de cenários de emissões, o CMIP6, também em sua sexta versão (IPCC, 2021).

Estes cenários, nomeados *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs), são projeções socioeconômicas globais que estudam cenários de emissões de GEE com diferentes políticas climáticas implantadas até 2100, ou seja, são combinações entre as emissões e as ações de mitigação e adaptação (Riahi, 2021). Os cinco cenários são divididos de acordo com caminho trilhado (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição das considerações nos cinco cenários socioeconômicos. (Tradução do Autor, 2022; Januta, 2021)

Cenário	Descrição
SSP1-1.9	O cenário mais otimista do IPCC, no qual as emissões líquidas de CO ₂ alçam zero até 2050. A sociedade adota práticas mais sustentáveis, com foco no bem-estar geral e não mais no crescimento econômico. Aumento de investimento em educação e saúde. Diminuição da desigualdade. Eventos climáticos extremos são mais comuns, porém o mundo conseguiu evitar

	os piores impactos das mudanças do clima. Este cenário é o único que atinge a meta do Acordo de Paris (consegue manter o aquecimento global em 1,5° Celsius acima dos limites de temperatura pré-industriais. Atinge a marca de 1,5°C, porém estabiliza em torno de 1,4°C até o fim do século.
SSP1-2.6	No segundo melhor cenário, as emissões globais de CO ₂ são severamente cortadas, porém não tão rapidamente, atingindo emissões líquidas zero após 2050. São adotadas as mesmas mudanças socioeconômicas do cenário SSP1-1.9, mas a temperatura estabiliza em torno de 1,8°C mais alta, até 2100.
SSP2-4.5	Este é um cenário de “rota média”. As emissões começam a cair na metade do século, mas não atingem net-zero até 2100. ¹ Os fatores socioeconômicos seguem suas tendências históricas, com nenhuma mudança notável. O progresso quanto à sustentabilidade é lento, com desenvolvimento e renda crescendo desigualmente. A temperatura cresce cerca de 2,7°C até o final do século.
SSP3-7.0	Nesta rota, emissões e temperatura crescem constantemente e as emissões de CO ₂ aproximadamente dobram, com base nos níveis atuais, até 2100. Os países se tornam mais competitivos um com o outro, pensando mais em segurança nacional e garantindo seus próprios suprimentos alimentares. Até o fim do século, a

temperatura média terá crescido 3,6°C.

SSP5-8.5

Este é um futuro para se evitar a qualquer custo. As emissões de CO₂ dobram, com base nos níveis atuais, até 2050. A economia global cresce rapidamente, mas esse crescimento está atrelado à exploração de combustíveis fósseis e estilos de vida com intenso uso de energia. Em 2100, espera-se um aumento de temperatura de 4,4°C.

¹ Emissões net-zero = emissões líquidas igual a zero.

Os números que sucedem o traço após a indicação do cenário SSP (1.9, 2.6, por exemplo) têm origem nos cenários *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que foram introduzidos pelo relatório AR5, divulgado em 2013 pelo IPCC, e que são identificados por sua forçante radiativa total, expressa em W/m², a ser atingida durante ou próximo ao final do século XXI. A diferença para os SSPs é que eles não consideram o sequestro de carbono, nem cenários socio-econômicos. O que ele faz é utilizar dados de mudanças no uso da terra e de emissões setoriais de poluentes do ar para projetar as concentrações anuais de gases de efeito estufa e as emissões antropogênicas até o ano 2100. Assim é possível elaborar os cenários que compõem os RCPs, levando em conta os impactos destas emissões, e aproximar a um valor de alteração no balanço de radiação no sistema terrestre, ou seja, chegar no valor em W/m² do forçamento radiativo. Se essa forçante é positiva, significa que a atmosfera está retendo energia, o que causa um aquecimento (Soares, 2021).

Como explicado anteriormente, as atividades humanas aumentam os níveis de gases de efeito estufa, que, por sua vez, impedem a irradiação de energia pela atmosfera da Terra. Logo, estes cenários, conciliam essas atividades, com o aquecimento que irão causar, por isso os números crescem conforme os cenários ficam menos otimistas. Por exemplo, o primeiro deles indica um aquecimento em termos de 1,9 W/m², enquanto o último estabelece o valor de 8,5 W/m².

2.5. GHG Protocol e GPC

O Programa GHG Protocol é uma iniciativa do *World Resources Institute* (WRI) em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), trabalhando em conjunto com governos, ONGs, indústrias e todos os outros tipos de organizações que possuam o objetivo

de quantificar e gerenciar suas emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para um esforço mundial em busca do equilíbrio climático.

O principal meio de trabalho desta iniciativa é elaborar padrões que permitam que a metodologia fique acessível a todos estes grupos. Entre estes guias está o *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*, o GPC (2014), utilizado neste trabalho como método base para estabelecer os limites, identificar as fontes e quantificar as emissões de GEE.

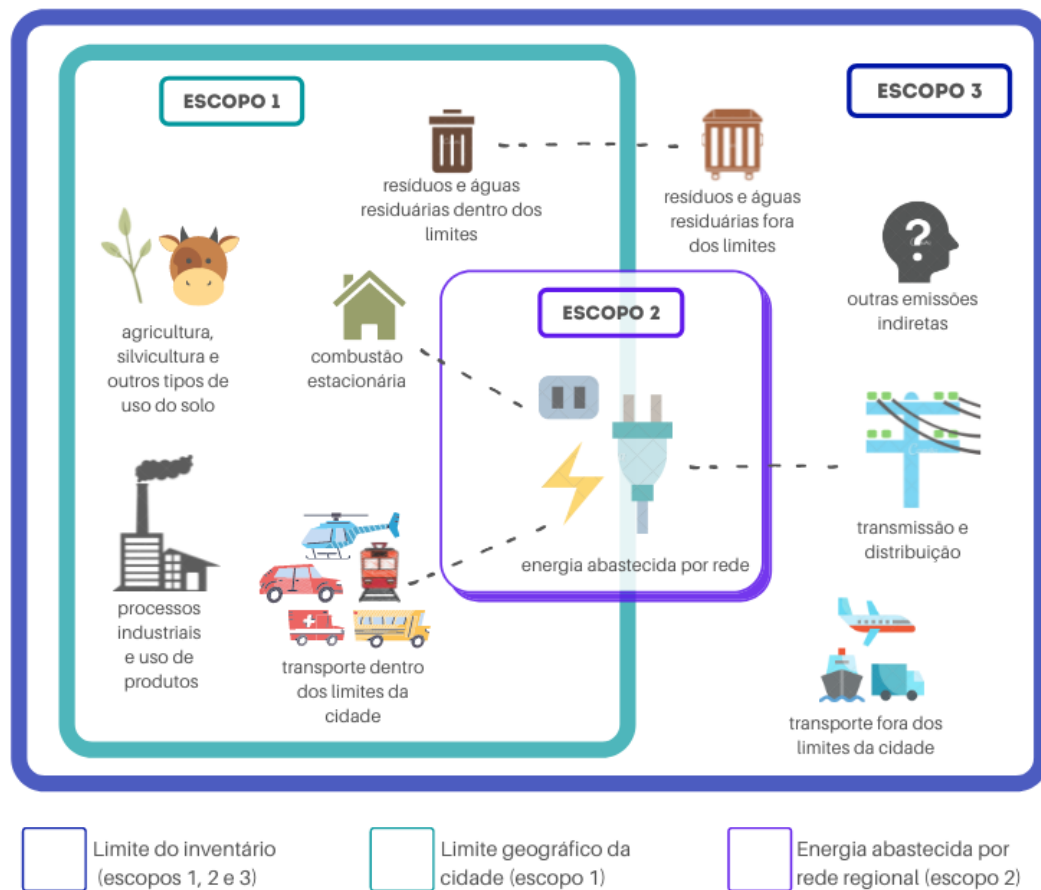
Além disso, foi utilizado como ferramenta de cálculo o Programa Brasileiro GHG Protocol, desenvolvido pelo FGVces e WRI, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), WBSCD e 27 Empresas Fundadoras, que disponibiliza uma planilha-base e guias adaptados para o contexto brasileiro.

O GPC e o Programa Brasileiro GHG Protocol indicam a necessidade de reporte dos GEE segundo o Protocolo de Kyoto, são eles: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbonetos (PFCs) e Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) (Kyoto Protocol, 2002). Além disso, recomendam o agrupamento das emissões em 3 escopos, de acordo com a localidade da fonte (GPC, 2014):

- Escopo 1: emissões dentro dos limites do município;
- Escopo 2: emissões consequentes da utilização de energia dentro dos limites do município;
- Escopo 3: emissões fora dos limites do município, como resultado de atividades do município.

Outra categorização utilizada pelos métodos, que facilita a coleta de dados e a visualização integral do sistema, é a separação das fontes por setores e subsetores. Entre os setores estão a Energia Estacionária, Transporte, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos (*Industrial Processes and Product Use*, IPPU, na sigla em inglês), Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (*Agricultural, Forestry and Other Land Uses*, AFOLU) e Outras Emissões de Escopo 3, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Fontes e limites das emissões de GEE nos municípios (Do Autor, 2021; adaptado WRI, 2014).



2.6. Atividade, Recurso e Fator de Emissão

Três conceitos importantes quando o assunto é inventariamento de gases de efeito estufa são: Atividade, Recurso e Fator de Emissão. É essencial entender a diferença e a relação entre eles para que seja possível identificar as fontes emissoras e fazer o cálculo e controle delas.

A atividade é qualquer processo que libera emissões para a atmosfera através do uso de um recurso. O recurso é a matéria que está sendo transformada nas emissões e o fator de emissão é o quantitativo que representa quanto, em uma determinada unidade, o recurso libera de cada gás. Para melhor entendimento, a Tabela 2 traz um exemplo dentro de cada um dos setores considerados pelo GPC/GHG Protocol.

Tabela 2: Exemplos de atividades, com respectivos recursos e fatores de emissão. (Fonte: GHG Protocol, 2021).

Setor	Escopo	Atividade	Recurso	Gás	Fator de emissão
Agrícola	1	Preparo de lavoura de feijão	Fertilizante	Óxido nitroso (N ₂ O)	0,008 kg de N ₂ O por kg de Fertilizante
Processos Industriais	1	Refrigeração	Gás Refrigerante	HFC-32	677 kg CO ₂ por kg de Gás HFC-32
Transporte	1	Uso de Automóvel	Gasolina	CO ₂	2,212 kg de CO ₂ por Litro de gasolina
Energia Estacionária	1	Combustão estacionária	Carvão Vapor 6000 kcal / kg	CO ₂	2258 kg de CO ₂ por Tonelada de carvão
Energia Elétrica	2	Consumo de energia elétrica	Energia elétrica da rede	CO ₂	0,1264 toneladas de CO ₂ por MWh de energia
Resíduos	3	Destinação para aterro	Papel/Papelão	CH ₄	0,08 kg de CH ₄ por kg de resíduo
Outras emissões de Escopo 3	3	Transporte hidroviário de mercadoria	Óleo Combustível	CO ₂	3,11 kg de CO ₂ por Litro de Óleo Combustível

REFERÊNCIA

BUIS, A. The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide. NASA Global Climate Change – Vital Signs of the Planet, 2019. Disponível em: < <https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/> >. Acesso em: 03 de novembro de 2021.

CIAIS, P., C. SABINE, G. BALA, L. BOPP, V. BROVKIN, J. CANADELL, A. CHHABRA, R. DEFRIES, J. GALLOWAY, M. HEIMANN, C. JONES, C. Le QUÉRÉ, R.B. MYNENI, S. PIAO and P. THORNTON, 2013: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf >. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

COR - European Committee of the Regions. Glasgow Chronicles: EU Cities and regions at COP26, 2021. Disponível em: < <https://cor.europa.eu/pt/news/Pages/Glasgow-Chronicles-EU-Cities-and-regions-at-COP26-.aspx> >. Acesso em: 17 de novembro de 2021.

FOWLER, D. Fowler; et all. Atmospheric composition change: Ecosystems - Atmosphere interactions. Atmospheric Environment, Elsevier, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.068>

FREDERIKSE, T., *et al.* The causes of sea-level rise since 1900. *Nature* 584, 393–397 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2021. In Press. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> >. Acesso em: 03 de novembro de 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Policymaker Summary of Working Group I (Scientific Assessment of Climate Change), IPCC First Assessment Report, 1990. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_wg_i_spm.pdf >. Acesso em: 08 de novembro de 2021.

IPCC (2022). About the IPCC: an overview. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/about/> >. Acesso em: 30 de março de 2022.

JANUTA, A. Explainer: The U.N. climate report's five futures - decoded. Reuters, 2021. Disponível em: < <https://www.reuters.com/business/environment/un-climate-reports-five-futures-decoded->

2021-08-09/?msclkid=0ca7255cb3a511ec824beeb427d4c287 >. Acesso em: 03 de abril de 2022.

JONES, C. Numerical modeling of the global climate and carbon cycle system, Chapter 4, p. 67-91, Trevor M. Letcher, Climate Change (Third Edition), Elsevier, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00004-9>

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p.456.

MACHADO, Jefferson Rosa. Estimativas das emissões de gases de efeito estufa de fontes móveis no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2019. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2019.

MCTI – Ministério da Ciência, da Tecnologia e Inovações. Clima: Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC, 2021. Disponível em: < https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html >. Acesso em: 08 de novembro de 2021.

Mitchell, J. F. B. (1989). The “Greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, 27(1), 115. doi:10.1029/rg027i001p00115

NASA - National Aeronautics and Space Administration. NASA Global Climate Change – Vital Signs of the Planet: Facts, 2020. Disponível em: < <https://climate.nasa.gov/> >. Acesso em 03 de novembro de 2021.

National Park Service. (2012). What is Climate Change?. Disponível em: <<https://www.nps.gov/goga/learn/nature/climate-change-causes.htm?msclkid=1a2d0101b06811eca55386adf79b10cf>>. Acesso em: 30 de março de 2022.

NCAR – National Center for Atmospheric Research; UCAR – University Corporation for Atmospheric Research. Center for Science Education: Earth's Energy Balance, 2015. Disponível em: < <https://scied.ucar.edu/interactive/earths-energy-balance> >. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

NCAR – National Center for Atmospheric Research; UCAR – University Corporation for Atmospheric Research. Center for Science Education: The Greenhouse Effect, 2021. Disponível em: < <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/greenhouse-effect>>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2021). Climate Model - Precipitation Change: SSP2 (Middle of the Road) - 2015 – 2100. Disponível em: <<https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/climate-model-precipitation-change-ssp2-middle-road-2015-2100/?msclkid=76542f0db27511ec8d6c3b2484d10bca>>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL (2016). PRETENDIDA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA PARA CONSECUÇÃO DO OBJETIVO DA CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. Brasília, Brasil. 12 de setembro

de 2016. Disponível em: <
https://antigo.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/BRASIL_iNDC_portugues.pdf >.
Acesso em: 30 de março de 2022.

Riahi, K. et al. (2021). The Shared Socio-Economic Pathways (SSPs): An Overview. ICONICS: International Committee on New Integrated Climate Change Assessment Scenarios. Disponível em:
<
https://unfccc.int/sites/default/files/part1_iiasa_rogelj_ssp_poster.pdf?msclkid=3aca2c97b0e811eca307283b40cb946d >. Acesso em: 31 de março de 2022.

SOARES, W. (2021). Impacto Clima: Cenários de Mudanças Climáticas. Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: <
https://impactoclima.ufes.br/sites/impactoclima.ufes.br/files/field/anexo/cenarios_de_mudancas_climaticas_rcp_ssp_0.pdf?msclkid=485d6f05b4d411ec9ec9154bcb72a5b7 >. Acesso em: 05 de abril de 2022.

TAHERKHANI, M., Vitousek, S., Barnard, P.L. *et al.* Sea-level rise exponentially increases coastal flood frequency. *Sci Rep* 10, 6466 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62188-4>

Tuckett, R. (2018). Greenhouse Gases. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. doi:10.1016/b978-0-12-409547-2.14031-4

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol. Kyoto, Japão, 3 de novembro de 2002. Disponível em: <unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
Acesso em: 22 de setembro de 2021.

WANG, J., Guan, Y., Wu, L., Guan, X., Cai, W., Huang, J., et al. (2021). Changing lengths of the four seasons by global warming. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091753. <https://doi.org/10.1029/2020GL091753>

SEGUNDA PARTE

ARTIGO – Emissões de gases de efeito estufa a nível municipal e comparação mundial: caso de Coqueiral, Minas Gerais

City-level greenhouse gas emissions and a worldwide comparison: a case of Coqueiral, Minas Gerais

Sofia Lasmar Lima Oliveira^{a*}, Luciana Figueiredo Prado^{b***} e Marcelo Vieira-Filho^{a**}

^aDepartamento de Meio Ambiente, Universidade Federal de Lavras, 37200-000 Lavras – MG, Brasil.

^bUNB. Campus Universitário Darcy Ribeiro. Gleba A, Setor Norte, via L3 Norte. CEP 70910-900 Brasília – DF, Brasil.

* sofialasmarlima@gmail.com

** marcelo.filho@ufla.br

*** luciana.prado@usp.br

O diagnóstico local e regional, são importantes, pois é ali que estão os tomadores de decisão e quem pode fazer algo para alterar o destino dessa e das futuras gerações, assim, este estudo quantificou as emissões de gases de efeito estufa para Coqueiral, no Sul de Minas Gerais, Brasil, seguindo o guia *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories* (GPC) e a ferramenta gratuita do Programa Brasileiro GHG Protocol. No ano de 2019, o município lançou na atmosfera 27.222,58 toneladas de CO₂equivalente (2,98 toneladas por habitante), apesar de ser um número abaixo da média mundial para o mesmo ano, que equivale a 4,4 toneladas de CO₂, é um valor significativo diante das atividades desempenhadas no local. Entre os setores indicados pelo GHG Protocol, no município se enquadram apenas Energia Estacionária, Transporte, Efluentes, Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (AFOLU), Energia e Resíduos Sólidos. Sendo que entre eles, AFOLU se destaca, contribuindo com 65% das emissões totais do respectivo ano, um resultado que sugere que a força econômica local está relacionada a este setor. Uma comparação interessante desta análise é feita com os cenários utilizados pelo IPCC para indagar as probabilidades do futuro da humanidade, com base nos padrões e no modelo econômico atual e como políticas públicas podem reverter danos que ainda são possíveis de serem evitados.

Palavras-chave: Mudanças do Clima; GHG Protocol; Gases de Efeito Estufa.

INTRODUÇÃO

A publicação do Sexto Relatório de Avaliação (AR6) pelo Grupo de Trabalho 1 (WG1), do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) evidenciou a necessidade de ações para conter os avanços das mudanças do clima. Em cinco prováveis cenários estabelecidos para avaliar as causas e consequências do aquecimento global, apenas um, o SSP1-1.9, indica a possibilidade de limitar o aumento de temperatura em 1,5°C acima dos limites pré-industriais até 2050 (Observatório do Clima, 2021), conforme Acordo de Paris (UNFCCC, 2015). Ainda que este objetivo seja atingido, algumas consequências já não podem mais ser evitadas, como o aumento do nível do mar, o degelo e aquecimento do oceano (IPCC, 2021).

Alguns impactos que um dia foram avaliados como futuros e prováveis, já podem ser visualizados. Uma pesquisa em 48 estados dos Estados Unidos mostrou que a duração da chamada “*growing season*”, entre o final da primavera e início do outono, segundo definição do United States *Department of Agriculture*, teve um aumento de 2 semanas desde o início do século 20, sendo observado um incremento grande e estável nos últimos 30 anos (EPA, 2021).

Wiles (2005) projetou que cerca de 95 km² de terra na zona costeira da Libéria seriam inundadas como resultado do aumento de um metro do nível do mar. Em 2018, Hayden descreveu que na comunidade de West Point, em Monrovia, na Libéria, 800 casas foram destruídas e mais de 6500 pessoas foram desalojadas desde 2013, devido à erosão e ao aumento do nível do mar, de acordo com as autoridades locais. Um conjunto de estudos permitiram a elaboração do AR6 e contribuíram para o aumento da confiança de que as mudanças climáticas estão acontecendo, que é consequência de ações humanas e que a única forma de contornar é reduzir as emissões a zero (IPCC, 2021).

Mesmo com todas as constatações, “mudanças climáticas” na percepção dos brasileiros ainda é um conceito abstrato. Apesar de 92% da população acreditar que o aquecimento global está acontecendo, apenas 25% diz saber a fundo sobre o tema (IBOPE, 2020). Por isso, muitas pesquisas sobre o assunto são necessárias para não somente buscar soluções, mas também para a difusão das conclusões à população, que é parte importante frente à luta contra a emergência climática.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo quantificar as emissões de gases de efeito estufa emitidos pelo município de Coqueiral – MG, no ano de 2019. O município apresenta economia predominantemente agrícola (PMSB, 2019) e para fazer tal mensuração utilizou-se dois modelos mundialmente conhecidos e aceitos a saber: o Protocolo Global de Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Escala Comunitária (GPC) e o

Programa Brasileiro GHG Protocol (PBGHGP). Desta forma, é possível identificar o perfil de emissão e relacioná-lo com os cenários do AR6, permitindo uma perspectiva atual e futura para o município e corroborando com as conclusões do relatório.

METODOLOGIA

Conciliando as diretrizes do GPC e a ferramenta brasileira de cálculo, foi possível definir os parâmetros deste trabalho.

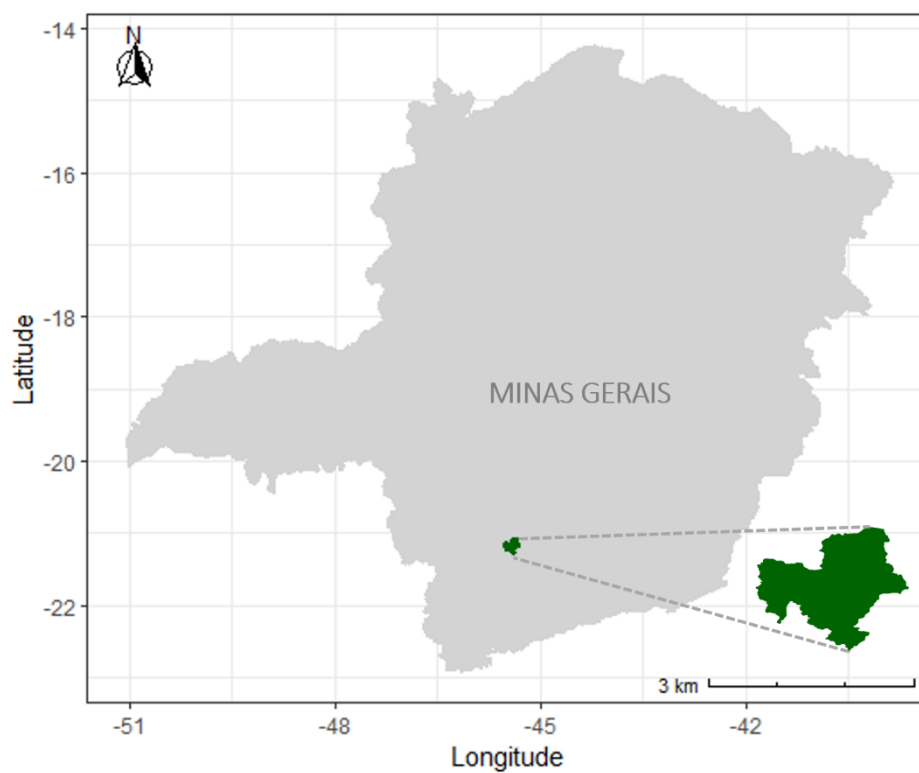
Limite Geográfico

Estabelecer os limites espacial e temporal do inventário é importante para o desenho da metodologia, para entendimento integral do sistema e para servir como fator de comparação. Para este trabalho, o perímetro físico definido foi o limite administrativo do município de Coqueiral, situado na região sul de Minas Gerais, a 270 quilômetros da capital Belo Horizonte.

A localidade possui população equivalente a 9.128 habitantes (IBGE, 2010; 2019), altitude média de 845 metros, coordenadas geográficas 21° 11' 10" S e 45° 26' 38" W (PMSB, 2019; Datum SIRGAS 2000) e área territorial de 296,163 km² (IBGE, 2020).

O GPC indica a coleta de 12 meses de dados para reporte, assim, o ano de 2019 foi escolhido como base para os cálculos.

Figura 4: Mapa Localização Coqueiral, Minas Gerais, Brasil (Do autor, 2020).



Categorias de Emissões

Os setores, subsetores e suas atividades foram detalhados e os fatores de emissão coletados, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Fatores de Emissão para as atividades listadas como fontes de GEE.

Setor/ Subsetor	Atividade	Fator de Emissão		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Combustão Estacionária	Estimativa de Uso de Gás de Cozinha no ano de 2019 (GLP)	2931 kg/ton (MCTIC, 2016)	0,23 kg/ton (IPCC, 2006)	0,005 kg/ton (IPCC, 2006)
	Combustão Móvel / Venda total de Gasolina no ano de 2019	2,12 kg/L (MMA, 2014)	0,0008 kg/L (IPCC, 2006)	0,00026 kg/L (IPCC, 2006)

Transporte rodoviário	Venda total de Diesel no ano de 2019	2,603 kg/L (MMA, 2014)	0,00014 kg/L (IPCC, 2006)	0,00014 kg/L (IPCC, 2006)
	Venda total de Etanol no ano de 2019	1,46 kg/L (MMA, 2014)	0,0004 kg/L (IPCC, 2006)	0,00001 kg/L (GHG Protocol, 2019)
	Fermentação entérica: Gado de Corte	-	57,7 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015) ¹	-
	Fermentação entérica: Vaca Leiteira	-	70 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
	Fermentação entérica: Suínos	-	1 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
Atividades Agrícolas	Manejo de Dejeito Animal: Gado de Corte	-	1,57 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015) ¹	-
	Manejo de Dejeito Animal: Vaca Leiteira	-	0,9 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
	Manejo de Dejeito Animal: Suínos	-	2,5 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
	Aplicação de Fertilizantes: Adubação Orgânica	-	-	0,01 kg/kg (WRI, Unicamp, 2015)

	Aplicação de Fertilizantes: Adubação Mineral	-	-	0,008 kg/kg (WRI, Unicamp, 2015)
Mudanças uso do solo	Redução de área: pastagem	0,49 ton/hectare (WRI, Unicamp, 2015) ²	-	-
	Redução de área: vegetação nativa	0,708 ton/hectare (WRI, Unicamp, 2015) ³	-	-
	Efluentes	Resíduos líquidos - esgoto	-	0,6 kg/kg DBO (IPCC, 2006)
Eletricidade	Energia – localização	0,075 t/MWh (SIN, 2019)	-	-
Resíduos Sólidos	Resíduos Sólidos Urbanos	-	- ⁴	-
	RSS - Incineração	0,95 kg/kg (IPCC, 2006)	-	0,06 kg/kg (IPCC, 2006)

¹ Média dos valores para macho, fêmea e jovem, uma vez que não obtinha desta distinção nos dados.

² Média dos valores, para uso anterior pastagem.

³ Média dos valores, para uso anterior vegetação nativa.

⁴ Não há geração de CH₄, porque há recuperação do gás no aterro sanitário

Sendo que, os setores Energia Estacionária, Transporte, Efluentes, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, na sigla em inglês), Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (AFOLU) são listados dentro do escopo 1, uma vez que produzem GEE dentro do limite geográfico considerado.

O setor de Energia, que reflete as emissões geradas pelo uso de energia elétrica proveniente da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), calculado no escopo 2. E outras emissões de escopo 3, que para Coqueiral, foi considerada as atividades de destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos e dos Resíduos de Serviço de Saúde (RSS), enviados,

respectivamente ao Aterro Sanitário Classe II (não perigosos) e ao Aterro Sanitário de resíduos perigosos (Classe I), localizados fora dos limites do município.

Metodologia de Cálculo

Para alcançar o objetivo de ter a quantidade de gases de efeito estufa lançados na atmosfera pelo município de Coqueiral no ano de 2019, foi utilizado o Programa Brasileiro GHG Protocol como ferramenta de cálculo. Este programa disponibiliza planilhas eletrônicas que possuem em seu *background* as equações, fatores de conversão, fatores de emissão e outros fatores variáveis, tornando mais simples a obtenção dos resultados. Porém, como esta planilha foi desenhada para organizações (empresas, indústrias, órgãos públicos, ONGs, etc.), foi necessário adaptá-la de acordo com o GPC. Ou seja, primeiro foram estabelecidas e categorizados os setores, subsetores e atividades que são fontes de emissão, depois coletados os dados necessários, que serviram de *input* à planilha do GHG Protocol.

Quando se trata de coleta dos dados, há duas formas de obter a quantidade de gases de efeito estufa lançados por determinada atividade: medição ou estimativa. Sendo que na maioria das vezes, quando se trata de escala comunitária, não há medição direta na fonte, sendo necessário estimar, através da multiplicação dos dados de uma atividade por um fator de emissão associado a ela, conforme equação 1:

$$\text{Emissão} = \text{Dados da atividade} \times \text{Fator de Emissão} \quad (1)$$

“Dados da atividade” é a medida quantitativa da atividade (uso do recurso) que gera emissões de GEE em um determinado período de tempo e o fator de emissão é a quantidade de gases gerados por cada unidade de atividade desempenhada. Esta conta é feita separadamente para cada tipo de gás. Por exemplo, para quantificar a quantidade de GEE emitidos por uso de gasolina pelo transporte rodoviário, o dado da atividade utilizado é a quantidade total de gasolina vendida, no ano de 2019, e os fatores de emissão em kg de GEE por litro de combustível para CO₂, CH₄ e N₂O são, respectivamente, 2,212 (MMA, 2014), 0,0008 (IPCC, 2006) e 0,00026 (IPCC, 2006).

Gerado o resultado em emissões por tipo de gás, é necessário multiplicar esse valor pelo Potencial de Aquecimento Global (GWP, em inglês) do GEE, que nada mais é que uma parametrização da contribuição ao efeito estufa, ou aquecimento global. Para CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente, os valores são 1,28 e 265 (IPCC, 2006). O dióxido de carbono é considerado como base para os cálculos dos GWPs dos outros gases. Assim, ao realizar essa multiplicação, o resultado se dá em CO₂equivalente (CO_{2e}), permitindo a soma e comparação dos GEE. Se, no exemplo anterior, o total de gases liberado foi 200 kg CO₂, 10 kg CH₄ e 5 kg

de N₂O, por exemplo, isso geraria 280 kg de CO_{2e} de contribuição do CH₄, isso porque ele contribui 28 vezes mais para o efeito estufa que o CO₂, enquanto para o N₂O o valor em CO_{2e} seria 1325.

A acurácia dos resultados obtidos depende da precisão dos fatores de emissão utilizados, se está de acordo com a região e com o tipo de atividade desempenhada, e se os dados das atividades são realistas e precisos.

Análise dos dados

O tratamento e análise dos dados foram realizados por programação em ambiente R, a partir dos dados obtidos na ferramenta GHG Protocol. Os gráficos foram realizados a partir do pacote *ggplot2* do R (R CORE TEAM, 2019).

Além dos resultados da planilha eletrônica do GHG Protocol, também foram extraídos do site oficial do *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA, 2018), responsável por tornar pública a base de dados dos chamados *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs), os dados dos cenários socioeconômicos que foram base para rodar os modelos do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6), que, por sua vez, foi utilizado para dar vida às projeções expostas pelo AR6, lançado pelo IPCC em 2021. O objetivo desta extração é a comparação com os resultados gerados por este trabalho e divulgação dos possíveis caminhos que o CMIP6 considera para a humanidade.

Para efeitos deste trabalho, foram extraídos os dados que estavam disponíveis, conforme cenários considerados pelo AR6. São cinco cenários, sendo dois de baixas emissões (SSP1-1.9 e SSP1-2.6), um de média emissão (SSP2-4.5) e dois de altas emissões (SSP3-7 e SSP5-8.5). Cada SSP é projeto por um diferente modelo, sendo eles:

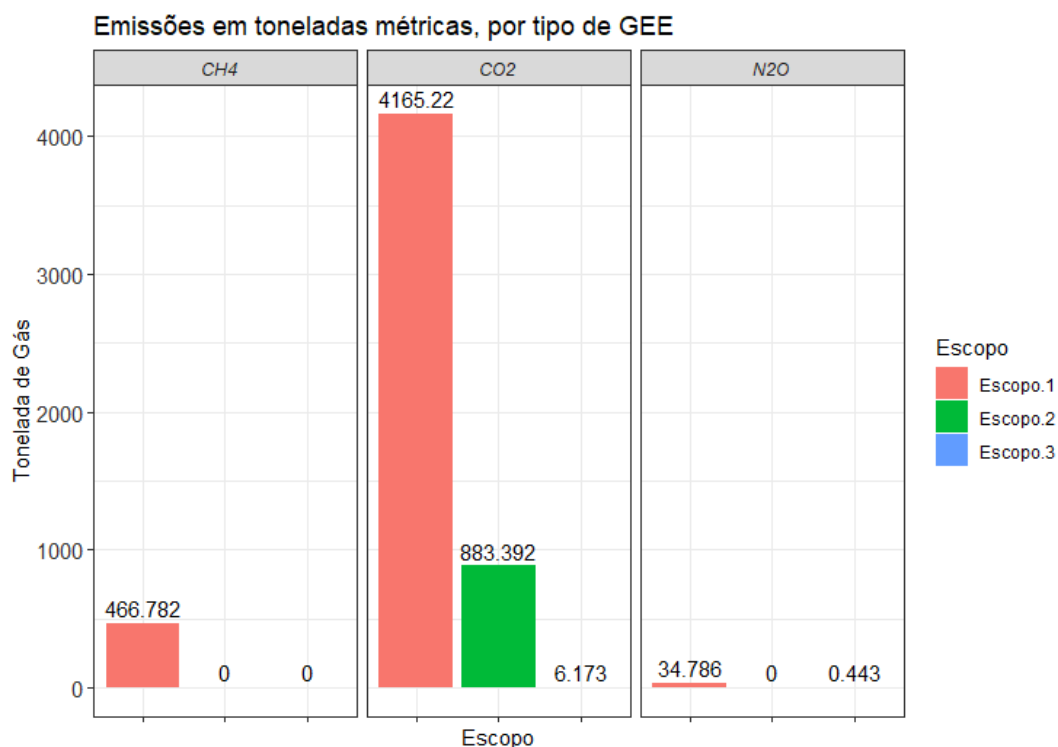
- SSP1: IMAGE (PBL)
- SSP2: MESSAGE-GLOBIOM (IIASA)
- SSP3: AI M (NIES)
- SSP4: GCAM (PNNL)
- SSP5: REMIND-MAGPIE (PIK)

Como apenas os dois primeiros (IMAGE e MESSAGE-GLOBIOM) foram disponibilizados pelo site em questão, somente eles foram utilizados para realizar as análises discutidas aqui.

RESULTADOS

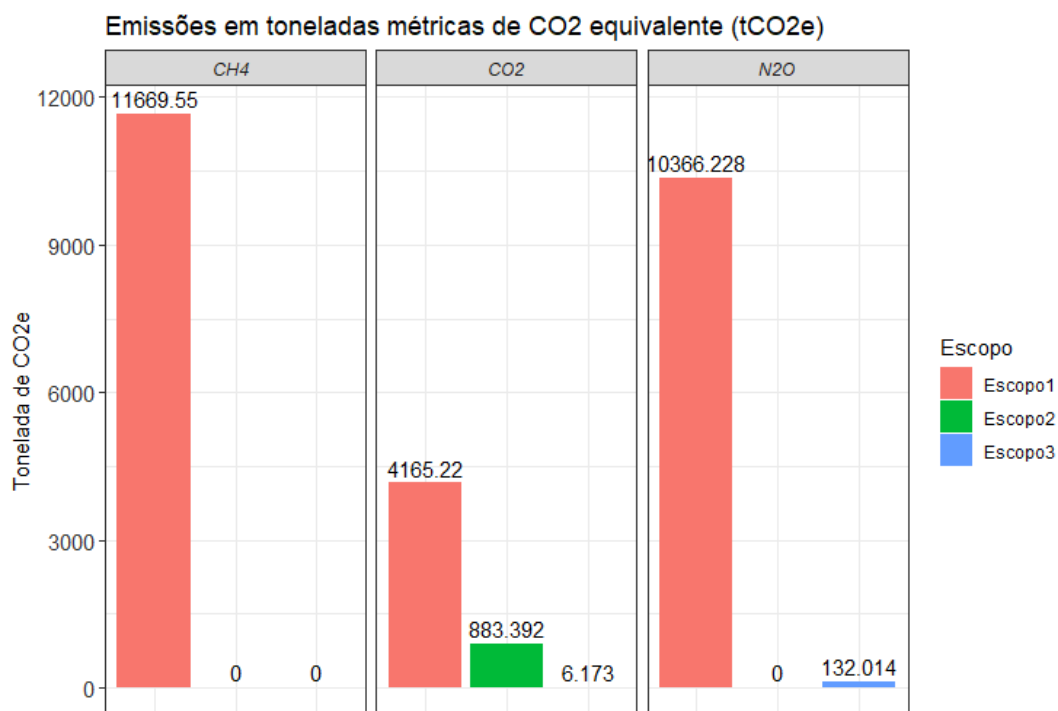
As emissões em toneladas métricas por tipo de gás no ano de 2019 estão expressas na Figura 5.

Figura 5: Gráfico demonstrativo das emissões por tipo de gás de efeito estufa gerado no ano de 2019 em Coqueiral, em toneladas métricas (Do Autor, 2022).



É possível notar a predominância do Escopo 1 (emissões dentro dos limites do município) e que a liberação, em toneladas métricas, é maior para o gás carbônico (somados, os 3 escopos emitem 5.054,8 toneladas de CO₂). Porém não é possível fazer uma comparação entre os gases ao que se refere à influência no efeito estufa, uma vez que cada um possui um potencial de aquecimento diferente. Por isso, a Figura 6 traz estes valores após sua multiplicação pelo respectivo GWP, transformando de toneladas métricas para unidade de toneladas de carbono equivalente. Assim, é possível comparar e somar os GEE (Figura 5).

Figura 6: Gráfico demonstrativo das emissões por tipo de gás de efeito estufa gerado no ano de 2019 em Coqueiral, em toneladas de CO₂equivalente (Do Autor, 2022).



Novamente, a predominância do escopo 1 é clara, porém agora nota-se que, apesar das emissões de CO₂ em toneladas métricas serem maiores, o CH₄ e o N₂O possuem influência muito maior na intensificação do efeito estufa. Além disso, é possível somar e ter uma percepção do total de GEE emitido (Tabela 4).

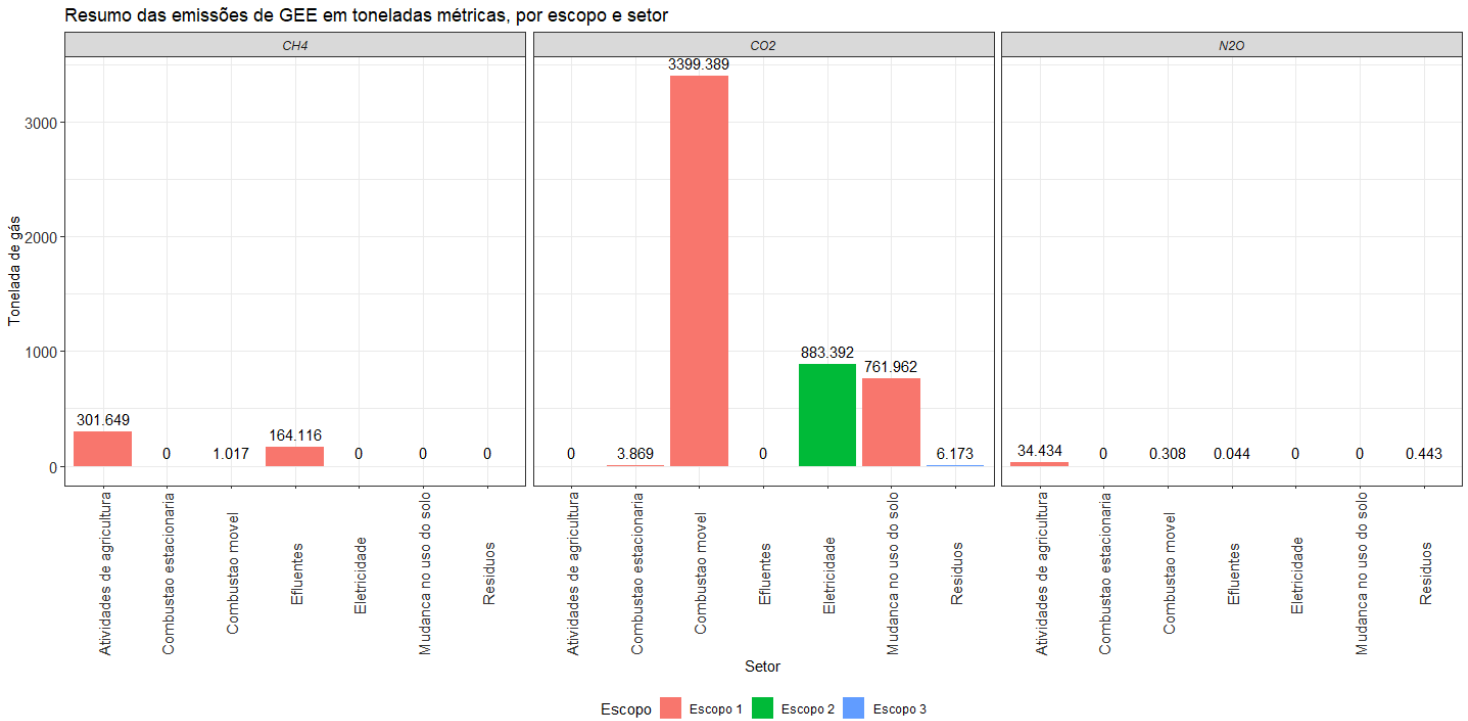
Tabela 4: Emissões por escopo, em toneladas de carbono equivalente. (Do Autor, 2022).

Escopo	Emissões (ton CO _{2e})
Escopo 1	26.200,998
Escopo 2	883,392
Escopo 3	138,187
TOTAL	27.222,577

Por fim, o último *output* da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol é a emissão por tipo de gás e escopo (Figura 7).

Figura 7: Gráfico demonstrativo das emissões por tipo de gás de efeito estufa e setor, em

toneladas métricas (Do Autor, 2022).



Os resultados da Figura 7 estão expressos em toneladas métricas, não admitindo comparação entre os gases, mas sim entre setores dentro de um mesmo GEE. Assim, é possível observar a predominância dos setores de Agricultura e Efluentes (ambos Escopo 1), para o CH₄, que juntos somam 465,76 toneladas, de um total de 466,78 toneladas de metano. Enquanto a Combustão Móvel (também de Escopo 1) contribui com 0,22% das emissões deste gás.

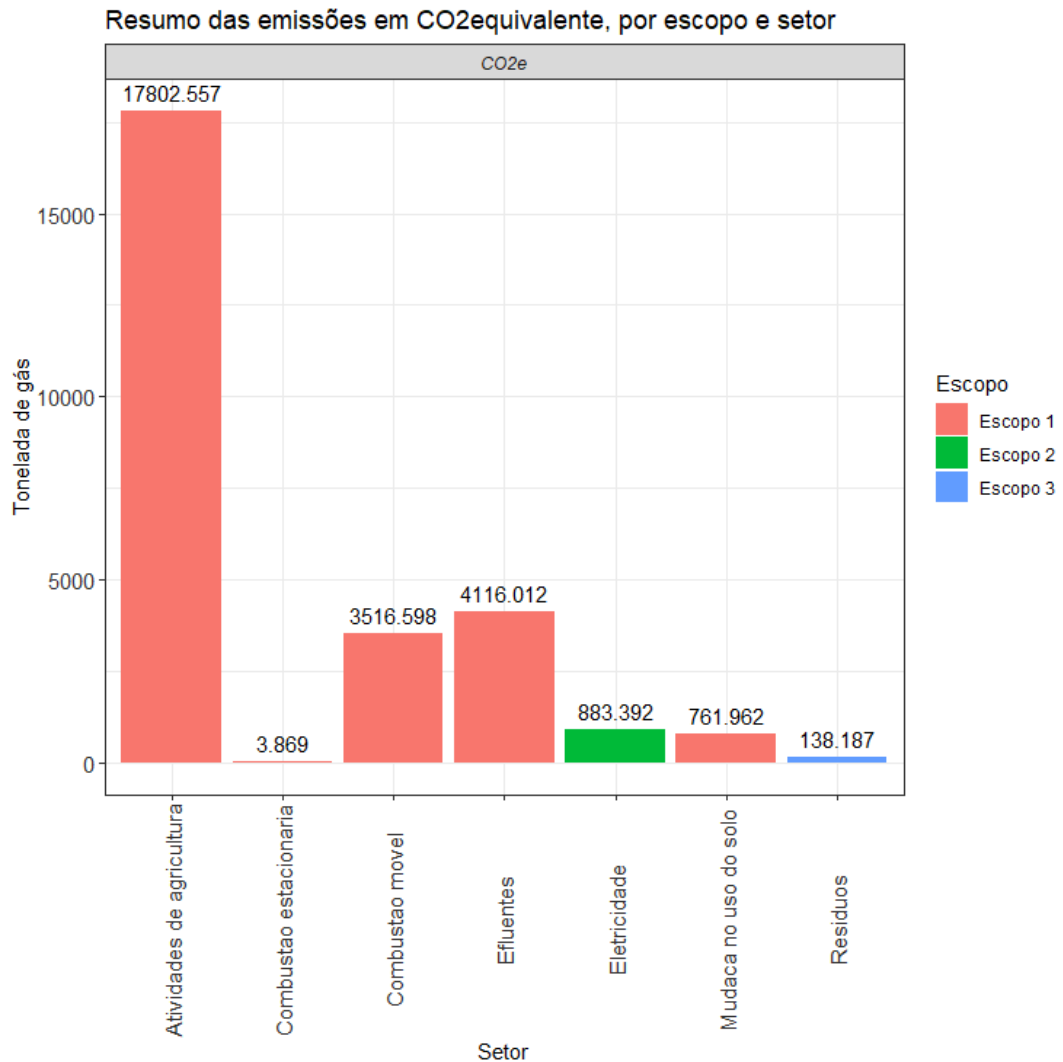
Para o CO₂, Combustão Móvel (Escopo 1) sai à frente, seguido por Eletricidade (Escopo 2), Mudanças no uso do solo (Escopo 1), Resíduos (Escopo 3) e Combustão Estacionária (Escopo 1). O total emitido estimado de CO₂ na atmosfera em 2019 foi 4165,22 toneladas, o que indica uma contribuição de 82% das fontes móveis, representadas pela queima de combustíveis (gasolina, etanol e álcool).

Por fim, para o óxido nitroso, as fontes de emissão se dividem em Atividades de Agricultura, Combustão Móvel e Efluentes, de Escopo 1 e Resíduos de Escopo 3. Sendo que 99% é proveniente da adubação dos cultivos agrícolas (mineral e orgânica).

Agora, para o entendimento geral das emissões, a Figura 8 traz o quantitativo anual (2019) em toneladas de CO₂equivalente por escopo e setor.

Figura 8: Gráfico demonstrativo das emissões por tipo de gás de efeito estufa e setor, em

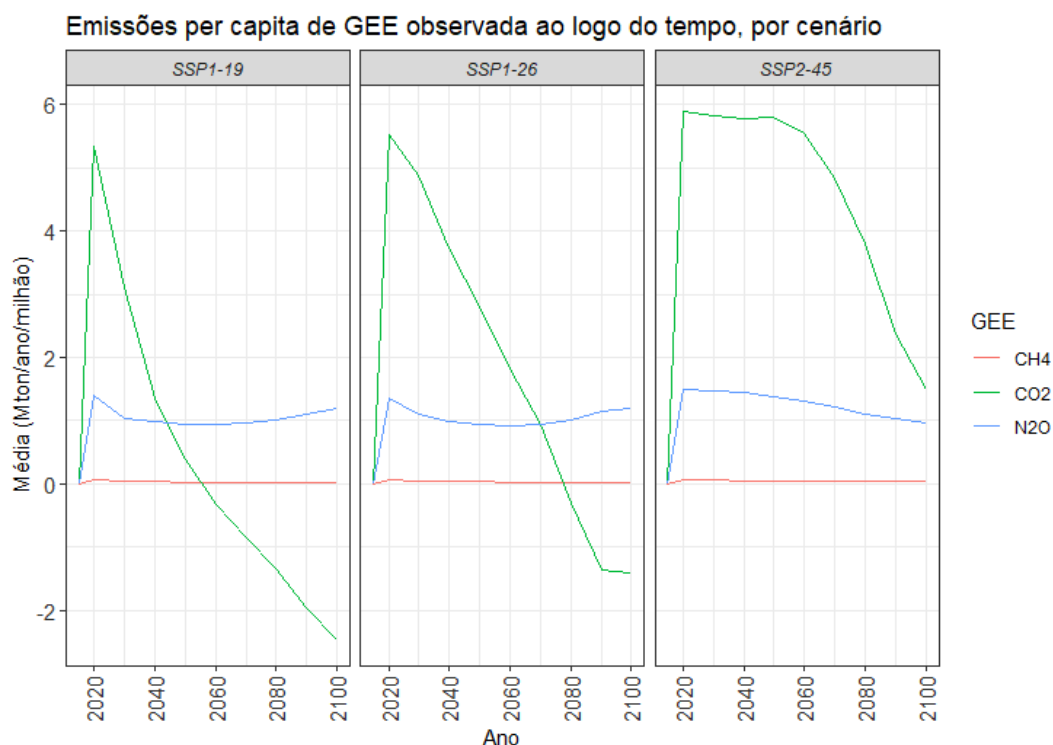
toneladas de CO₂equivalente (Do Autor, 2022).



Em termos de carbono equivalente, a contribuição do setor de Agricultura é igual a 65,40%, enquanto os outros setores de Escopo 1 somam 30,85%, Eletricidade (Escopo 2), 3,25% e Resíduos, representando todo o Escopo 3, 0,51%.

À título de comparação, foi gerado ainda um gráfico a partir dos dados globais de *input* dos cenários do CMIP6, a partir das médias per capita de emissões ao redor do globo entre os anos 2015 e 2100. Estes dados estão expressos em emissões por tipo de gás, por cenário, sendo que foi possível a extração de 3 dos 5 considerados pelo AR6: SSP1-1.9, SSP-2.6 e SSP2-4.5, os três mais otimistas da série.

Figura 9: Variação mundial das emissões de GEE entre 2015 e 2100, por cenário. (Fonte: Do Autor, 2022).



O gráfico (Figura 9) ilustra bem as especificações de cada cenário:

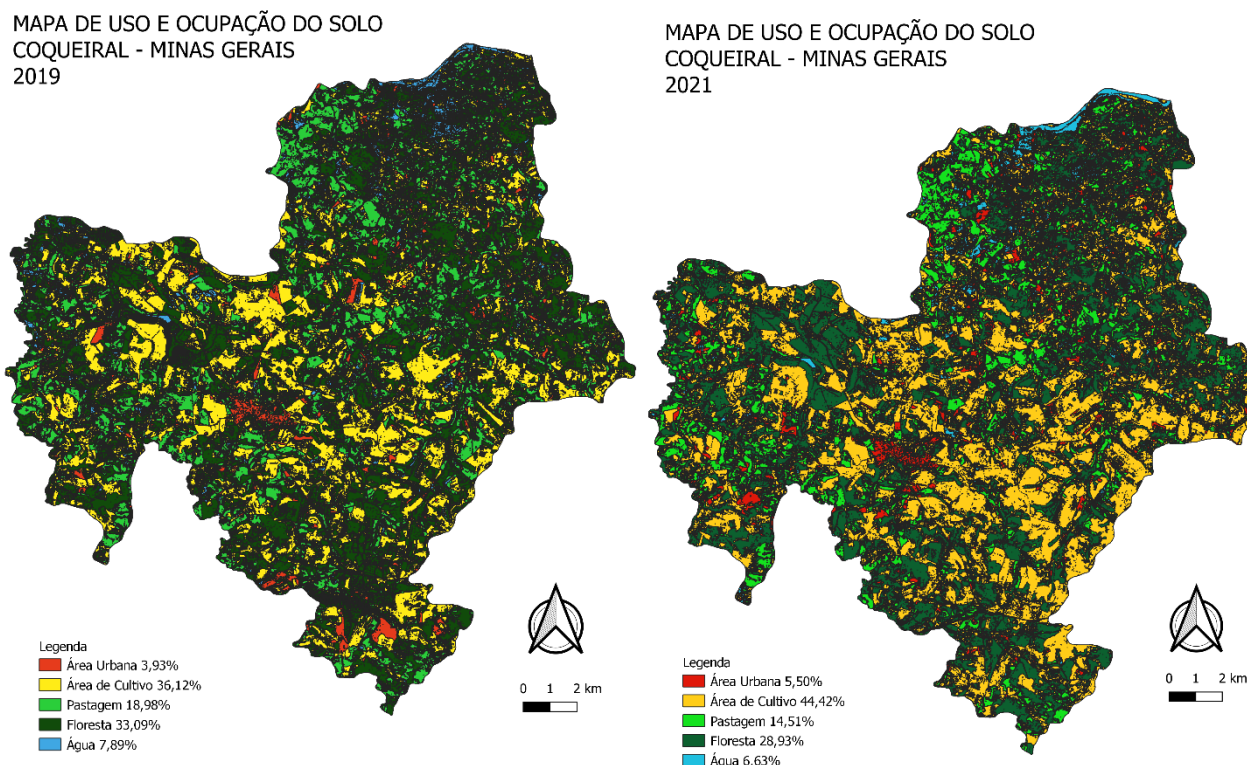
- O SSP1-1.9 é um cenário destinado a limitar o aquecimento até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, até 2100 (o único entre os 5), para isso, as emissões líquidas atingem o valor zero em 2050, como é possível visualizar no gráfico mais à esquerda para a linha verde, que representa o CO₂. É o cenário mais otimista e exige severa mudança nos padrões atuais, em relação ao uso energia e combustíveis fósseis, com foco no bem-estar geral e não no crescimento econômico.
- Para o SSP1-2.6 o marco zero em emissões líquidas demora um pouco mais para ser atingido (próximo à 2080). Apesar de exigir as mesmas mudanças socioeconômicas, é adotada uma forçante radiativa de 2,6 W/m², enquanto no primeiro adota-se 1,9 W/m².
- No terceiro cenário, SSP2-4.5, as emissões começam a cair na metade do século e não atinge o zero até 2100. Não há grandes avanços em termos de sustentabilidade e padrões da sociedade. O forçamento radiativo é de 4,5 W/m².

DISCUSSÃO

A predominância do Escopo 1, visualizada nas figuras de 5 a 8, está atrelada primeiramente pela quantidade de setores e atividades que ela abrange: 6 setores e 14

atividades, contra 1 setor e 1 atividade de Escopo 2 e 1 setor e 2 atividades de escopo 3. Mas essa não é a única explicação, além disso, as atividades que se enquadram em Agricultura, possuem claramente alta contribuição nas emissões (Figura 8), isso porque da área geográfica considerada, a maior parte é utilizada como área de cultivo agrícola (Figura 10).

Figura 10: Gráfico elaborado através de classificação supervisionada a partir de dados obtidos por imagem do satélite Sentinel. À direita, imagem de dezembro de 2019. À esquerda, imagem de janeiro de 2021. (Fonte: Do Autor, 2021; USGS, 2021).

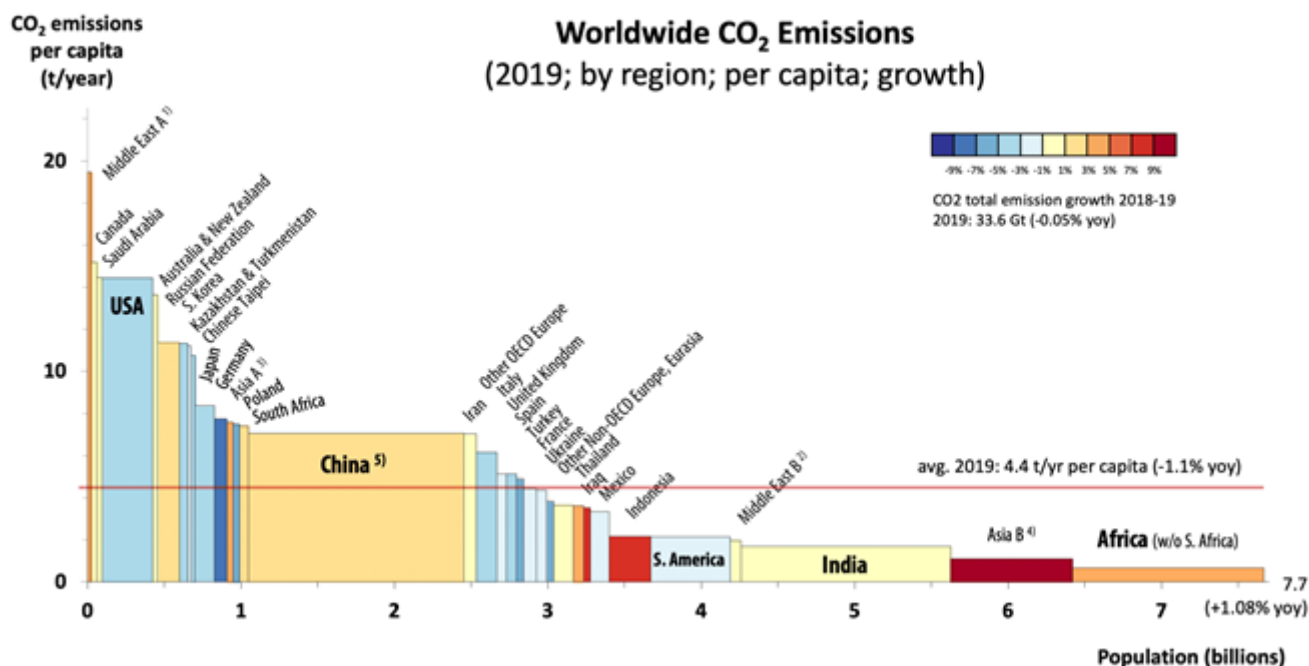


As áreas utilizadas para cultivo e pastagem somam, no final de 2019, 55,10% e no início de 2021, 58,93%, uma variação em crescimento de 3,83%. Enquanto que a área urbana representa uma porcentagem muito inferior (3,93% em 2019 e 5,5% em 2021).

Outra percepção importante a partir dos resultados do GHG Protocol é a quantidade per capita das emissões. Visto que foi emitido um total de 27.222,58 (Tabela 4) e a população total para o ano de 2019 em Coqueiral é de 9128 habitantes, resulta-se em 2,98 toneladas de CO_{2e} per capita lançados para atmosfera.

Observando a Figura 11, é possível uma comparação entre Coqueiral e a média per capita de outras regiões em todo o mundo. A média geral, visualizada pela linha constante, indicada 4,4 toneladas de CO₂, por ano e pessoa. Sendo que, acima desta linha se encontram os países desenvolvidos, como os Estados Unidos, com cerca de 14 tCO_{2e}/pc/ano, e abaixo, os em desenvolvimento, chegando a 0,7 tCO_{2e}/pc/ano (África, exceto África do Sul).

Figura 11: Emissões de CO₂ per capita para 2019. (Fonte: International Energy Agency, 2021)



CONCLUSÃO

Diante do exposto, levando em consideração a emissão per capita de 2,98 tCO₂ em Coqueiral, os dados ilustrados pela Figura 11 e as previsões da Figura 9, é possível notar que todos os estudos encaixam a visão de que a contribuição de determinada região está atrelada aos padrões de vida, ou seja, as atividades ali desempenhadas. E é por isso que o IPCC e os cenários aqui divulgados demonstram a necessidade de alterar padrões de consumo, reduzir o consumo de energia e combustíveis fósseis e seguir políticas públicas mais sustentáveis.

Por fim, este estudo corrobora com o exposto pelo Sexto Relatório de Avaliação do IPCC, mostrando que mesmo em regiões locais, como no município de Coqueiral, é possível notar a influência humana nas emissões e que a desigualdade de renda, onde são colocados os investimentos e a mentalidade da sociedade podem indicar como será o futuro da humanidade.

Este trabalho pode servir como modelo para a Prefeitura Municipal de Coqueiral e outros municípios que queiram fazer frente junto à luta climática modelo, de forma a gerar uma base de dados nacional, que irá contribuir para estimativas brasileiras mais acuradas de emissão de GEE.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2021). PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: 2020. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> >. Acesso em: 21 de setembro de 2021.

EPA – United States Environmental Protection Agency. Length of Growing Season. Climate Change Indicators, 2021. Disponível em: < <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-length-growing-season#tab-3> >. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

Farias, D. F., Júnior, M. A. (2009). Estudo para implementação de Biodigestor de Resíduos Sólidos em Comunidade de Baixa Renda. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em: < http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2009/Artigos/Art_TCC_023_2009.pdf > . Acesso em: 20 de setembro de 2021.

FREDERIKSE, T., et al. The causes of sea-level rise since 1900. *Nature* 584, 393–397 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>

Gidden, M. J., Riahi, K., Smith, S. J., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., van Vuuren, D. P., van den Berg, M., Feng, L., Klein, D., Calvin, K., Doelman, J. C., Frank, S., Fricko, O., Harmsen, M., Hasegawa, T., Havlik, P., Hilaire, J., Hoesly, R., Horing, J., Popp, A., Stehfest, E., and Takahashi, K.: Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century, *Geosci. Model Dev. Dev.*, 12, 1443-1475, DOI:10.5194/gmd-12-1443-2019, 2019.

HAYDEN, S. As high seas threaten Liberian slum, residents await promised homes. Reuters, 2018. Disponível em: < <https://www.reuters.com/article/us-liberia-water-slums-idUSKBN1KK014>>. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

IBOPE – Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística. Mudanças climáticas na percepção dos brasileiros. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.percepcaoclimatica.com.br/>>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

International Energy Agency (2021). Greenhouse gas emissions from energy (retrieved on Oct 30, 2021 at <https://www.iea.org/statistics>).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L.

Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.]. Cambridge University Press. In Press.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Disponível em: < <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> >. Acesso em: 27 de setembro de 2021.

JANUTA, A. Explainer: The U.N. climate report's five futures - decoded. Reuters, 2021. Disponível em: < <https://www.reuters.com/business/environment/un-climate-reports-five-futures-decoded-2021-08-09/?msclkid=0ca7255cb3a511ec824beeb427d4c287> >. Acesso em: 03 de abril de 2022.

LBUQUERQUE, T T A et al. Composição química da água de chuva na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2021). Climate Model - Precipitation Change: SSP2 (Middle of the Road) - 2015 – 2100. Disponível em: <<https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/climate-model-precipitation-change-ssp2-middle-road-2015-2100/?msclkid=76542f0db27511ec8d6c3b2484d10bca>>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021. IPCC AR6, WG1: RESUMO COMENTADO. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/08/OC-IPCC-AR6-FACTSHEET_FINAL.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2021.

PREFEITURAL MUNICIPAL DE COQUEIRAL, 2020. Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB. Coqueiral, Minas Gerais.

Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K.V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Strefler, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., Krey, V., Kriegler, E., Riahi, K., van Vuuren, D.P., Doelman, J., Drouet, L., Edmonds, J., Fricko, O., Harmsen, M., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Tavoni, M., Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. *Nature Climate Change* 8, 2018, 325-332. DOI:10.1038/s41558-018-0091-3

SOARES, W. (2021). Impacto Clima: Cenários de Mudanças Climáticas. Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: < https://impactoclima.ufes.br/sites/impactoclima.ufes.br/files/field/anexo/cenarios_de_mudancas_climaticas_rcp_ssp_0.pdf?msclkid=485d6f05b4d411ec9ec9154bcb72a5b7 >. Acesso em: 05 de abril de 2022.

UFLA - Universidade Federal De Lavras. Biblioteca Universitária. Manual de normalização e

estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol. Kyoto, Japão, 3 de novembro de 2002. Disponível em: <unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> Acesso em: 22 de setembro de 2021.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Paris Agreement. Paris, França, 12 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2021.

Unimed Vertente do Caparaó (2021). INVENTÁRIO CORPORATIVO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Manhuaçu, MG. 18 de março de 2021. Disponível em: <<https://www.unimed.coop.br/documents/1019640/13483925/Invent%C3%A1rio+de+G%C3%A1s+e+Efeito+Estufa+2021+%28ano+base+2020%29.pdf/9e39d35f-c174-42fe-b6e0-311479a609d1>>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

WILES, D. Coastal zone vulnerability and adaptation to Climate Change in Liberia. Training Workshop on Adaptation and Vulneration to Climate Change. Maputo, Mozambique. Abril, 2005. Disponível em: <https://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/meetings/application/pdf/20050419wiles.pdf>. Acesso em: 27 de outubro de 2005.

WRI – World Resources Institute. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC). Novembro de 2014. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/greenhouse-gas-protocol-accounting-reporting-standard-cities>>. Acesso em: 22 de setembro de 2021

CONCLUSÃO GERAL

O objetivo principal deste estudo era quantificar a emissão de gases de efeito estufa para o município de Coqueiral e estabelecer uma relação com o AR6 e os cenários considerados pelos cientistas do IPCC. Porém, gostaria que ele fosse além e servisse como base para a Prefeitura Municipal de Coqueiral e para outras, como fonte metodológica para realização dos próprios inventários e reporte. Não foi citado ao longo deste trabalho, mas uma organização importante, que trabalha diretamente com esse tipo de relatório é a CDP (*Carbon Disclosure Project*). Uma organização internacional sem fins lucrativos, que auxilia empresas e cidades a medirem, divulgarem, gerenciarem e compartilharem informações sobre sustentabilidade. Além disso, possui um indicador que, de acordo com o percentual de respostas que a empresa/cidade reporta ao CDP, há uma pontuação, que é convertida em diversos benefícios, podendo inclusive, a chegar a receber investimentos em projetos sustentáveis.

Por fim, como é dito pelo CDP, o que não é mensurado, não é gerenciado. O primeiro passo para a implantação de políticas voltadas para o combate das mudanças do clima, é a mensuração do impacto. E esse início foi realizado por este trabalho para o município de Coqueiral.

APÊNDICE 1 - FONTES DOS DADOS

SETOR/ SUBSETOR	ESCOPO	ATIVIDADE	TIPO	FONTE DE DADOS	FATOR DE EMISSÃO		
					CO2	CH4	N2O
Combustão Estacionária	1	Estimativa de Uso de Gás de Cozinha no ano de 2019 (GLP)	Secundário	Prefeitura Municipal de Coqueiral (Quantidade de casas); Farias, 2009 (Média de Uso de Botijão por família).	2931 kg/ton (MCTIC, 2016)	0,23 kg/ton (IPCC, 2006)	0,005 kg/ton (IPCC, 2006)
Combustão Móvel / Transporte rodoviário	1	Venda total de Gasolina no ano de 2019	Secundário	Postos de Combustíveis da Cidade	2,12 kg/L (MMA, 2014)	0,0008 kg/L (IPCC, 2006)	0,00026 kg/L (IPCC, 2006)
		Venda total de Diesel no ano de 2019			2,603 kg/L (MMA, 2014)	0,00014 kg/L (IPCC, 2006)	0,00014 kg/L (IPCC, 2006)
		Venda total de Etanol no ano de 2019			1,46 kg/L (MMA, 2014)	0,0004 kg/L (IPCC, 2006)	0,00001 kg/L (GHG Protocol, 2019)
Atividades Agrícolas	1	Fermentação entérica: Gado de Corte	Secundário	EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais)	-	57,7 kg/cabeça ¹ (WRI, Unicamp, 2015)	-
		Fermentação entérica: Vaca Leiteira			-	70 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
		Fermentação entérica: Suínos			-	1 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
Atividades Agrícolas	1	Manejo de Dejeito Animal: Gado de Corte	Secundário	EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais)	-	1,57 kg/cabeça ¹ (WRI, Unicamp, 2015)	-
		Manejo de Dejeito Animal: Vaca Leiteira			-	0,9 kg/cabeça (WRI, Unicamp, 2015)	-
		Manejo de Dejeito			-	2,5 kg/cabeça (WRI,	-

		Animal: Suínos				Unicamp, 2015)	
Atividades Agrícolas	1	Aplicação de Fertilizantes: Adubação Orgânica	Secundário	EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais)	-	-	0,01 kg/kg (WRI, Unicamp, 2015)
		Aplicação de Fertilizantes: Adubação Mineral			-	-	0,008 kg/kg (WRI, Unicamp, 2015)
Mudanças uso do solo	1	Redução de área: pastagem	Primário	Classificação supervisionada com dados do Sentinel, imagem disponível no site da USGS.	0,49 ton/hectare ² (WRI, Unicamp, 2015)	-	-
		Redução de área: vegetação nativa			0,7077 ³ (WRI, Unicamp, 2015)	-	-
Efluentes	1	Resíduos líquidos - esgoto	Secundário	Prefeitura Municipal de Coqueiral	-	0,6 kg/kg DBO (IPCC, 2006)	0,005 kgN ₂ O- N/kgN (IPCC, 2006)
Eletricidade	2	Energia - localização	Secundário	CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais	0,075 t/MWh (SIN, 2019)	-	-
Resíduos Sólidos	3	Resíduos Urbanos	Secundário	Prefeitura Municipal de Coqueiral	-	- ⁴	-
Resíduos Sólidos	3	RSS - Incineração	Secundário	Dado base: Abelpre (2020); População: IBGE; Equação: Unimed Vertente do Caparaó (2021)	0,95 kg/kg (IPCC, 2006)	-	0,06 kg/kg (IPCC, 2006)

¹ Média dos valores para macho, fêmea e jovem, uma vez que não obtinha desta distinção nos dados.

² Média dos valores, para uso anterior pastagem

³ Média dos valores, para uso anterior vegetação nativa

⁴ Não há geração de CH₄, porque há recuperação do gás no aterro sanitário