



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental  
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Ana Gabriela Pena de Castro**

"Avaliação da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa às mudanças climáticas das cidades da Região dos Inconfidentes - Minas Gerais"

Ouro Preto

2021

"Avaliação da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa às mudanças climáticas das  
cidades da Região dos Inconfidentes - Minas Gerais"

Ana Gabriela Pena de Castro

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção  
do Grau de Engenharia Ambiental na  
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 30 de agosto de 2021

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Orientadora: Prof. D.Sc. Livia Cristina Pinto Dias – UFOP

Ouro Preto

2021

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C355a Castro, Ana Gabriela Pena de.  
Avaliação da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa às  
mudanças climáticas das cidades da Região dos Inconfidentes - Minas  
Gerais. [manuscrito] / Ana Gabriela Pena de Castro. - 2021.  
57 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Mudanças climáticas. 2. Cidades e vilas - Vulnerabilidade. 3.  
Cidades e vilas - Capacidade adaptativa. I. Dias, Lívia Cristina Pinto. II.  
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502.15(815.1)

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Ana Gabriela Pena de Castro**

### **Avaliação da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa às mudanças climáticas das cidades da Região dos Inconfidentes - Minas Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 30 de agosto de 2021

#### Membros da banca

Dra. Marina de Medeiros Machado - Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dra. Aline de Araújo Nunes - Departamento de Engenharia Urbana - Universidade Federal de Ouro Preto  
Me. Ana Beatriz dos Santos - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada - Universidade Federal de Viçosa

Profa. Livia Cristina Pinto Dias, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 20/09/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Livia Cristina Pinto Dias, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/09/2021, às 18:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0223157** e o código CRC **FF681F00**.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser meu Guia, por toda força, luz e proteção ao longo da minha vida e da fase mais incrível de todas, minha graduação!

À Prof<sup>a</sup> Lívia, por ser uma inspiração desde o dia em que a conheci. Obrigada por toda a orientação durante a Iniciação Científica e o Trabalho de Conclusão de Curso. Obrigada por me fazer apaixonar ainda mais pela profissão que escolhi!

À mamãe Dárleen, vovó Glória e vovô David, e aos meus irmãos Bruna, Júlia e João. Vocês são a razão de tudo isso! Muito obrigada por todo apoio, amor, compreensão, e por sempre acreditarem no meu potencial. Eu amo vocês mais do que consigo descrever!

Ao meu pai Wellington, vovó Zizi e Denise, por todo apoio e amor, mesmo à distância.

À toda minha família, em especial aos meus tios Breno, Geórgia e Gener, que foram e sempre serão enormes exemplos e inspirações para as escolhas que fiz.

Ao meu amor, Filipe, por todo carinho, apoio e companheirismo. Viver essa experiência ao seu lado tornou tudo ainda mais especial!

Às incríveis amigas que a Ambiental que me deu! Às minhas xuxus, Ca, Ju e Ke! À Dani, Adriana, Manu, Juliano, Maickson, CAEA e todos os amigos! Obrigada por compartilharem essa jornada mais do que especial comigo ao longo desses anos! Vocês sempre terão um lugar gigante no meu coração!

A todos os professores da Universidade Federal de Ouro Preto, em especial aos do Departamento de Engenharia Ambiental, por todo aprendizado, experiências e inspiração. Espero honrar todo conhecimento que adquiri de vocês!

E, por fim e não menos importante, à UFOP e Escola de Minas! Só quem viveu sabe a alegria, intensidade e o prazer de se formar aqui! Eterna gratidão!

## RESUMO

Os impactos negativos associados às mudanças climáticas são fatores cada vez mais preocupantes para os sistemas naturais e humanos, já que grande parte da população mundial é considerada vulnerável aos inúmeros riscos. O diagnóstico dessas questões a nível regional e local permite uma compreensão maior, proporcionando a tomada de decisões e ações de adaptação. Assim, este trabalho objetiva avaliar a vulnerabilidade e a capacidade adaptativa às mudanças climáticas das cidades da Região dos Inconfidentes. A avaliação se deu pela caracterização socioeconômica e ambiental, pela análise dos cenários climáticos, pela identificação dos indicadores de sensibilidade e exposição, que permitiram a avaliação da capacidade adaptativa e da vulnerabilidade dos municípios envolvidos. Para os índices de sensibilidade e exposição, Ouro Preto e Mariana apresentaram sensibilidade alta e Itabirito apresentou sensibilidade moderada, e os três municípios apresentaram exposição alta. Para o índice de capacidade adaptativa, Ouro Preto e Itabirito apresentaram capacidade adaptativa moderada, enquanto Mariana apresentou capacidade adaptativa alta. Finalmente, para a avaliação da vulnerabilidade, Ouro Preto apresentou vulnerabilidade baixa, e Itabirito e Mariana apresentaram vulnerabilidade muito baixa. Essas avaliações permitem que os municípios compreendam os efeitos adversos das mudanças climáticas e quais ações devem ser tomadas para que os locais se adaptem.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Vulnerabilidade, Capacidade Adaptativa, Região dos Inconfidentes.

## **ABSTRACT**

The negative impacts associated with climate change are factors of increasing concern for natural and human systems, considering that a large part of the world population is considered vulnerable to numerous risks. The diagnosis of these issues at regional and local level allows for a greater understanding, enabling decision-making and adaptation actions. Thus, this work aims to assess the vulnerability and adaptive capacity to climate change of the Inconfidentes Region. The evaluation was based on socioeconomic and environmental characterization, the analysis of climate scenarios, the identification of sensitivity and exposure indicators, which allowed the assessment of the adaptive capacity and vulnerability of the municipalities involved. For the indices of sensitivity and exposure to climate change, Ouro Preto and Mariana presented high sensitivity and Itabirito presented moderate sensitivity, and the three cities presented high exposure. For the adaptive capacity index, Ouro Preto and Itabirito presented moderate adaptive capacity, while Mariana presented high adaptive capacity. Finally, for the vulnerability assessment, Ouro Preto presented low vulnerability and Itabirito and Mariana presented very low vulnerability. These assessments allow municipalities to understand more the adverse effects of climate change and what actions must be taken for the locals to adapt.

**Keywords:** Climate Change, Vulnerability, Adaptive Capacity, Inconfidentes Region.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Processo de Adaptação. ....	7
<b>Figura 2</b> – Esquema do processo de avaliação de vulnerabilidade. ....	11
<b>Figura 3</b> – Localização geográfica da Região dos Inconfidentes. ....	15
<b>Figura 4</b> – Climograma da Região dos Inconfidentes. ....	18
<b>Figura 5</b> - Temperatura (SSP 2-4.5). ....	31
<b>Figura 6</b> - Temperatura (SSP 5-8.5) ....	32
<b>Figura 7</b> - Precipitação (SSP 2-4.5).....	33
<b>Figura 8</b> - Precipitação (SSP 5-8.5).....	33
<b>Figura 9</b> - Deslizamento de terra em Ouro Preto/MG, 2012.....	37
<b>Figura 10</b> - Inundação em Itabirito/MG, 2012.....	37
<b>Figura 11</b> - Incêndio no Parque Estadual do Itacolomi em Ouro Preto/MG, 2020.	38
<b>Figura 12</b> - Mapas dos quatro indicadores avaliados para a Região dos Inconfidentes, Minas Gerais.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Principais definições dos parâmetros utilizados na avaliação de vulnerabilidade climática .....	9
<b>Tabela 2</b> - População, PIB e IDHM dos municípios da Região dos Inconfidentes. 17	
<b>Tabela 3</b> – Classificação para a sensibilidade local .....	21
<b>Tabela 4</b> – Classificação para a exposição local .....	22
<b>Tabela 5</b> - Fatores de sensibilidade analisados. ....	23
<b>Tabela 6</b> - Fatores de exposição analisados. ....	26
<b>Tabela 7</b> - Classificação da capacidade adaptativa municipal .....	27
<b>Tabela 8</b> - Indicadores de Capacidade Adaptativa analisados (Urban Adaptation Index - UAI). ....	28
<b>Tabela 9</b> - Classificação da vulnerabilidade local .....	30
<b>Tabela 10</b> - Resultados obtidos para os indicadores de sensibilidade e exposição	39
<b>Tabela 11</b> - Resultados obtidos para o indicador de capacidade adaptativa .....	40
<b>Tabela 12</b> - Resultados obtidos para o indicador de vulnerabilidade .....	41

## LISTA DE SIGLAS

AR5 – *5th Assessment Report*

AR6 – *6th Assessment Report*

COP – Conferência das Partes

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

GEE – Gases de Efeito Estufa

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

NDC – Contribuições Nacionalmente Determinadas

OMM – Organização Meteorológica Mundial

ONU – Organização das Nações Unidas

PEMC – Plano de Energia e Mudanças Climáticas

PIB – Produto Interno Bruto

PNA – Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas

PNMC – Política Nacional de Mudanças Climáticas

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RCP - *Representative Concentration Pathways*

SEMAD – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SSP - *Shared Socio-Economic Pathways*

UAI – *Urban Adaptation Index*

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivos gerais .....	3
2.2	Objetivos específicos .....	3
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1	Mudanças climáticas .....	4
3.2	Modelos climáticos .....	5
3.3	Adaptação às mudanças climáticas .....	7
3.3.1	Medidas de adaptação e mitigação .....	8
3.4	Definições importantes .....	9
3.5	Avaliação da vulnerabilidade .....	10
3.6	Políticas climáticas no mundo .....	12
3.7	Políticas climáticas no Brasil.....	13
3.8	Políticas climáticas em Minas Gerais .....	13
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	15
4.1	Área de estudo .....	15
4.1.1	Aspectos socioeconômicos.....	16
4.1.2	Aspectos climáticos .....	18
4.2	Análise dos cenários climáticos da Região dos Inconfidentes .....	19
4.3	Impactos potenciais referentes às mudanças climáticas presentes na Região dos Inconfidentes.....	20
4.4	Avaliação dos índices de sensibilidade e exposição municipal.....	21
4.5	Identificação dos índices de capacidade adaptativa .....	27
4.6	Identificação da vulnerabilidade da Região dos Inconfidentes .....	30
		X

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
5.1	Análise dos cenários climáticos da Região dos Inconfidentes .....	31
5.2	Impactos potenciais referentes às mudanças climáticas .....	35
5.2.1	Impactos sociais .....	35
5.2.2	Impactos econômicos .....	35
5.2.3	Impactos ambientais .....	36
5.3	Avaliação dos índices de sensibilidade e exposição regional.....	39
5.4	Avaliação da capacidade adaptativa.....	40
5.5	Avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas da Região dos Inconfidentes.....	41
6	CONCLUSÕES. ....	43
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

# 1 INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas, vêm sendo notados impactos ambientais cada vez mais intensos e nocivos. Um dos grandes fatores associado a essas graves consequências são as mudanças climáticas que ocorrem em todo o planeta, como a elevação dos índices de temperatura local e global, alteração dos índices de precipitação, aumento do nível do mar, alteração dos ecossistemas, secas e inundações, entre outros. Esses impactos evidenciam ainda mais a vulnerabilidade e a exposição dos sistemas naturais e humanos, dando importância à implementação de ações que limitem e/ou minimizem os riscos e efeitos negativos causados, como a mitigação e a adaptação à variabilidade climática.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), mudança climática refere-se a uma alteração no estado do clima que pode ser identificada (ex.: por meio de testes estatísticos) por meio de alterações na média e/ou na variabilidade das suas propriedades e que persiste durante um longo período, tipicamente décadas ou mais (IPCC, 2014). Enquanto isso, a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC) define alteração climática como uma alteração no clima que é atribuída, direta ou indiretamente, à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que é, além da variabilidade natural do clima, observada ao longo de períodos comparáveis (UNFCCC, 2012).

Atrelado ao conceito de mudanças climáticas, o IPCC define a vulnerabilidade como sendo a "medida na qual um sistema está susceptível aos efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo-se a variabilidade climática e os fenômenos extremos" (IPCC, 2007). Ainda segundo o IPCC, "a vulnerabilidade depende da natureza, da amplitude e do ritmo da variação climática à qual o sistema em questão está exposto, da sensibilidade desse sistema e de sua capacidade de adaptação" (IPCC, 2007). Deste modo, o conhecimento prévio dos conceitos de variação climática e vulnerabilidade permite que sejam avaliados os riscos e a exposição de comunidades afetadas pelos impactos climáticos.

Por conta dos riscos causados aos sistemas naturais e humanos, diversos acordos e negociações internacionais foram criados e adotados a fim de minimizar e/ou mitigar os efeitos negativos, como a fundação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas (UNFCCC) que levou

ao início das Conferências das Partes (COPs) e, conseqüentemente, a elaboração do Protocolo de Kyoto (1997) e do Acordo de Paris (2015). Já em relação ao Brasil, existem diversos planos e políticas em âmbito nacional e regional, sendo os principais: a Política Nacional sobre Mudança Climática (PNMC/Lei nº 12.187/2009), os Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação (Decreto 7.390/2010) e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança Climática (PNA).

Com isso, a elaboração de estudos de vulnerabilidade permite a avaliação de características sociais, econômicas e ambientais das regiões de estudo perante os efeitos de cenários e variações climáticas observadas. Esses estudos possibilitam identificar quem são as pessoas mais vulneráveis, onde estão localizadas e quais os riscos que enfrentam. Dessa forma, auxiliam na tomada de decisões e elaboração de políticas climáticas, sendo uma contribuição importante para o planejamento do processo de adaptação e do desenvolvimento urbano dessas regiões.

Ao longo dos anos, a Região dos Inconfidentes vem apresentando cada vez mais riscos correlacionados às variações do clima, como diversos históricos de deslizamento de terra e inundações, como o ocorrido no Terminal Rodoviário no município de Ouro Preto, em 2012. Dessa forma, o seguinte trabalho objetiva mensurar e avaliar a vulnerabilidade e a capacidade adaptativa das cidades da Região dos Inconfidentes frente às mudanças climáticas observadas e seus impactos potenciais, possibilitando a implementação de métodos adaptativos nas políticas municipais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Avaliar a vulnerabilidade referente às mudanças climáticas das cidades da Região dos Inconfidentes (Itabirito, Mariana e Ouro Preto), no estado de Minas Gerais.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Levantar dados de clima futuro para a região de interesse;
- Caracterizar o clima futuro com base nos cenários SSP4.5 e SSP8.5;
- Estimar a sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa com base em variáveis sociais, ambientais e econômicas;
- Utilizar as estimativas de sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa para estimar a vulnerabilidade da região de interesse frente às mudanças climáticas.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Mudanças climáticas**

As variações climáticas em todo o mundo têm despertado cada vez mais atenção por parte da comunidade científica, dos governantes e de toda a população, por ameaçar diretamente a vida humana no planeta. Os impactos causados por essas variações podem se manifestar de formas distintas, muitas vezes por extremos climáticos, como a variação dos índices de precipitação, secas, enchentes, furacões, elevação do nível dos oceanos, derretimento de geleiras, e ondas de calor e de frio cada vez mais frequentes e de maior intensidade (AQUINO et al, 2017).

Uma das questões mais abordadas é o aquecimento global. Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. Sendo assim, é provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual (IPCC, 2014). Ainda que exista a propensão natural ao aquecimento global, pesquisas mostram que a ação antrópica influencia e acelera cada vez mais esse fenômeno de forma intensa e alarmante, provocando um aumento na vulnerabilidade das populações e, conseqüentemente, afetando diferentes setores humanos e naturais, como: ecossistemas, recursos hídricos, saúde, agricultura, indústrias, entre muitos outros.

A magnitude cada vez mais notória do aquecimento global intensifica a probabilidade de impactos graves, generalizados e até mesmo irreversíveis. Ainda são incertos os níveis de alterações climáticas suficientes para desencadear pontos de viragem, ou seja, que atingem o limite para a mudança irreversível, mas pode-se afirmar que o aumento da temperatura está diretamente associado ao risco da ultrapassagem de vários pontos de ruptura em sistemas humanos e naturais (IPCC, 2014).

Dessa forma, outro fator importante e muito preocupante são os eventos climáticos extremos. Os impactos de eventos climáticos extremos variam desde a alteração dos ecossistemas, perturbação na produção de alimentos e abastecimento de água, danos nas infraestruturas e povoações, morbidade e mortalidade, afetando conseqüentemente a saúde mental e bem-estar das pessoas. Para países em todos os níveis de desenvolvimento, estes impactos estão correlacionados com uma significativa falta de preparação diante da atual variabilidade climática (IPCC, 2014). Entretanto, os países mais pobres possuem

menor capacidade de adaptação, o que os torna cada vez mais vulneráveis diante das mudanças climáticas.

### **3.2 Modelos climáticos**

Para a definição das projeções e cenários climáticos são utilizados modelos climáticos e cenários de emissões. Os modelos climáticos possuem como objetivo projetar diferenças nas características climáticas de determinadas regiões, entre os dias atuais e cenários futuros. Essas diferenças incluem aumentos na temperatura média na maioria das regiões terrestres e oceânicas, nos extremos de calor na maioria das regiões habitadas, na ocorrência de chuva intensa em diversas regiões e na probabilidade de seca e déficits de chuva em algumas regiões (IPCC, 2014).

No relatório AR5 (*5th Assessment Report*) do IPCC, foram propostos quatro cenários de emissão e concentração de GEE (gases de efeito estufa) possíveis de acontecerem até 2100, os chamados RCPs - *Representative Concentration Pathways*, que são identificados por sua forçante radiativa total, expressa em  $W/m^2$ . Os RCPs possuem um cenário de mitigação rigoroso (RCP2.6), dois cenários intermediários (RCP4.5 e RCP6.0) e um cenário com emissões de GEE muito altas (RCP8.5) (IPCC, 2014).

O relatório AR6 (*6th Assessment Report*) do IPCC, com previsão de publicação para 2022, irá estabelecer novos cenários a partir dos RCPs já existentes, com a diferença de que a nova versão contemplará cenários que incluem o sequestro de carbono e levará em consideração aspectos socioeconômicos. Os chamados SSPs (*Shared Socio-Economic Pathways*) são divididos em SSP1 (sustentabilidade), SSP2 (“meio do caminho”), SSP3 (rivalidade regional), SSP4 (desigualdade) e SSP5 (desenvolvimento baseado em combustíveis fósseis), onde cada um resulta diferentes níveis da forçante radiativa total, como os RCPs.

Os SSPs analisam esses cinco cenários, ou seja, cinco maneiras diferentes em que o mundo pode evoluir na ausência de uma política climática e como diferentes níveis de mitigação e adaptação das mudanças climáticas podem ser alcançados quando as metas dos RCPs são combinadas com os SSPs (RIAHI et al, 2017). Os SSPs fornecem narrativas que descrevem desenvolvimentos socioeconômicos alternativos. Em termos de elementos quantitativos, fornecem dados que estabelecem os cenários de população nacional, urbanização e PIB (IPCC, 2021).

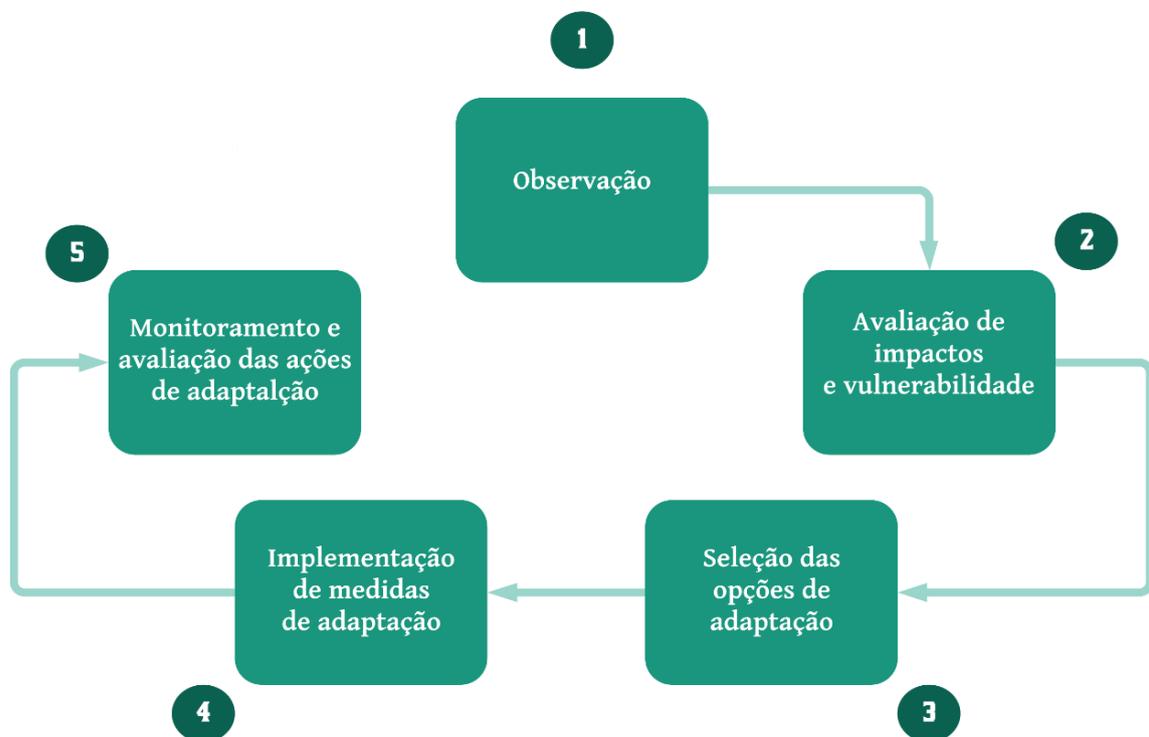
Os RCPs e os SSPs foram elaborados para serem complementares, de forma que possibilitem a exploração de possíveis caminhos futuros, analisando questões socioeconômicas e climáticas. Dessa forma, foram estabelecidas cinco combinações de cenários entre os RCPs e os SSPs: SSP1-1.9 (as emissões globais de CO<sub>2</sub> reduzidas totalmente, por volta de 2050), SSP1-2.6 (as emissões globais de CO<sub>2</sub> reduzidas totalmente, após 2050), SSP2-4.5 (as emissões de CO<sub>2</sub> em torno dos níveis atuais antes de cair por volta de 2050, mas não chega a atingir o nível zero em 2100), SSP3-7.0 (as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam constantemente para o dobro dos níveis atuais em 2100) e SSP5-8.5 (as emissões de CO<sub>2</sub> dobram até 2050).

### 3.3 Adaptação às mudanças climáticas

Para minimizar os efeitos desses impactos referentes às mudanças climáticas, os sistemas naturais se ajustam à essas mudanças, isto é, se adaptam à nova realidade à qual estão expostos. A partir daí, surge então o conceito de adaptação. Segundo o IPCC (2007), adaptação refere-se aos ajustes nos sistemas humanos e naturais em resposta à variação climática presente ou futura, com o objetivo de minimizar os danos ou explorar oportunidades benéficas. Apesar de todos os impactos negativos advindos das mudanças climáticas, existem também os cobenefícios, como a promoção de conhecimento e a resiliência das comunidades envolvidas.

Os métodos de adaptação podem ser classificados quanto à adaptação preventiva e à adaptação reativa. A adaptação preventiva consiste na adoção de ações em preparação para a mudança climática e a adaptação reativa busca adotar ações quando os efeitos da mudança climática já foram notados (IPCC, 2014). As ferramentas e opções de adaptação devem ser adotadas considerando as características da região, seja ela um país, estado ou município, ou atividade específica.

**Figura 1-** Processo de Adaptação.



Fonte: UNFCCC– Adaptado pela autora, 2021.

O primeiro passo para a elaboração de um processo de adaptação baseia-se na observação das variações climáticas e, conseqüentemente, seus aspectos e impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes em uma determinada região (**Figura 1**). Em seguida, realiza-se a avaliação desses impactos e da vulnerabilidade local, permitindo então a adoção e seleção de ferramentas e ações de adaptação ali necessárias. São levados em conta diferentes fatores, como custo-benefício, potenciais cobenefícios e concordância entre toda a comunidade envolvida. Finalmente, tendo conhecimento das estratégias e medidas admitidas, o próximo passo é a implementação dessas ações, que serão monitoradas e avaliadas (UNFCCC, 2011).

### 3.3.1 Medidas de adaptação e mitigação

Para lidar com a variação climática e seus impactos, é necessário a abordagem de dois métodos: mitigação e adaptação. A mitigação refere-se à redução das emissões de GEE para evitar e reduzir a incidência da mudança do clima, ou seja, é uma medida preventiva quanto aos riscos climáticos associados. Enquanto isso, a adaptação busca reduzir seus efeitos danosos e explorar possíveis oportunidades, por meio da redução da vulnerabilidade e/ou exposição dos sistemas, como dissertado no tópico anterior, ou seja, as medidas de adaptação são aplicadas para reduzir os riscos climáticos já notados (AdaptaClima, 2021). Sendo assim, a adaptação e a mitigação são medidas complementares, que buscam a redução e o gerenciamento dos riscos das mudanças climáticas. É fundamental que exista uma correlação entre as ações de mitigação e adaptação, para aumentar a relação custo-efetividade, os benefícios sociais e tornar os sistemas mais resilientes (IPCC, 2014).

### 3.4 Definições importantes

Para a elaboração do processo de adaptação e avaliação da vulnerabilidade, se faz necessário a abordagem e conhecimento de alguns conceitos e definições básicos, a começar pela vulnerabilidade. De acordo com o IPCC (2014), a vulnerabilidade é definida como o grau que um sistema é susceptível a, e incapaz de lidar com, os efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo a variabilidade climática e extremos climáticos. Sendo assim, consiste na propensão ou predisposição que determinado elemento ou conjunto de elementos têm para serem impactados negativamente. A vulnerabilidade agrega uma variedade de conceitos, incluindo exposição, sensibilidade, riscos, impactos potenciais e capacidade adaptativa. Para uma melhor compreensão e efeito didático dos parâmetros abordados ao longo do trabalho, na **Tabela 1** estão apresentados os conceitos e definições para cada uma das variáveis.

**Tabela 1** – Principais definições dos parâmetros utilizados na avaliação de vulnerabilidade climática

PARÂMETROS	DEFINIÇÕES
Capacidade adaptativa	Conjunto de capacidades, recursos e instituições de um país ou região para implementar medidas de adaptação eficazes (IPCC, 2007).
Sensibilidade	Grau no qual um sistema é influenciado, positivamente ou negativamente, pela variabilidade ou pelas mudanças climáticas (IPCC, 2007).
Exposição	A presença de pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções ambientais, serviços e recursos, infraestruturas ou bens económicos, sociais ou culturais em locais e cenários que poderiam ser afetados adversamente (IPCC, 2014).

Risco	A combinação da probabilidade de ocorrência e das consequências de um evento adverso (por exemplo, ciclone tropical, seca, inundação) (PNUD, 2011).
Resiliência	A capacidade dos sistemas sociais, económicos e ambientais de lidar com eventos perigosos ou tendências ou perturbações, respondendo ou reorganizando-se de formas que mantenham a sua função, identidade e estrutura essenciais, enquanto também mantêm a capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação (IPCC, 2014).
Impactos potenciais	Referem-se aos efeitos dos eventos climáticos e meteorológicos extremos e das mudanças climáticas (exposição) sobre os sistemas naturais e humanos (sensibilidade). (WayCarbon, Prefeitura de Belo Horizonte, 2013).

### 3.5 Avaliação da vulnerabilidade

O aumento dos impactos potenciais relacionados às mudanças climáticas, remete ainda mais à questão da vulnerabilidade ambiental, social e econômica. Apesar das variações climáticas atingirem todo o planeta, algumas regiões ou ecossistemas são mais vulneráveis do que outros. Os setores de vulnerabilidade podem ser classificados quanto aos ecossistemas, recursos hídricos, saúde, agricultura, indústrias, entre muitos outros. Os setores vulneráveis devem ser identificados e avaliados de acordo com a região de estudo.

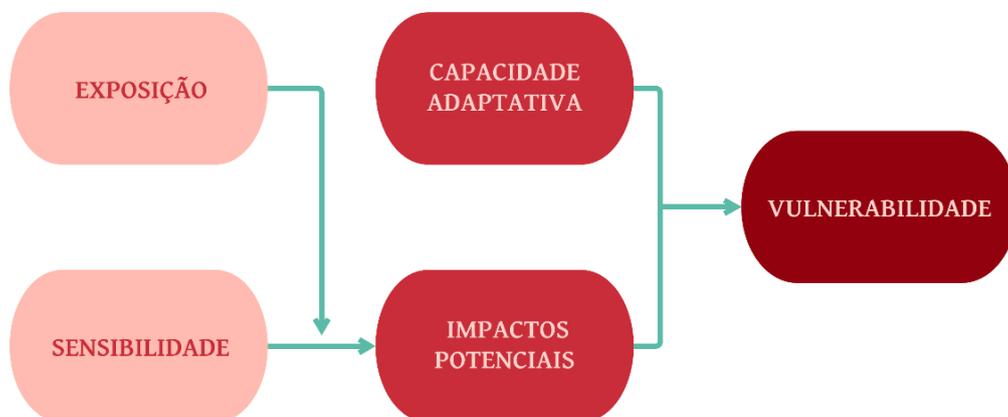
Já a avaliação da vulnerabilidade baseia-se na análise integrada dos impactos e potenciais impactos climáticos nos sistemas naturais e socioeconômicos. Para o IPCC, a vulnerabilidade é compreendida como a propensão de uma determinada população/localidade a ser adversamente afetada por alterações do clima em função de três elementos fundamentais: sensibilidade, capacidade adaptativa e exposição (IPCC, 2007). A correlação entre esses três parâmetros pode ser expressa por:

$$V=f(E,S,CA)$$

Onde, a exposição (E) está relacionada à natureza, à amplitude e ao ritmo da variação climática à qual o sistema está exposto; a sensibilidade (S) é o grau no qual um sistema é influenciado, positiva ou negativamente, e, a capacidade adaptativa (CA) está ligada à capacidade em diminuir ou evitar danos por meio da exploração de oportunidade benéficas existentes nos sistemas (IPCC, 2007).

Em virtude da necessidade de ações de adaptação frente aos impactos potenciais causados pelas mudanças climáticas, a avaliação de vulnerabilidade de determinada região, atrelada aos indicadores e parâmetros, tem sido uma ferramenta cada vez mais essencial, visto sua capacidade de sistematizar a coleta de informações e facilitar a visualização de fenômenos complexos. O fluxograma (**Figura 2**) apresenta a relação intrínseca dos indicadores e parâmetros, e como o conhecimento acerca deles é necessário e fundamental para a avaliação de vulnerabilidade completa e adequada. Vale ressaltar que os parâmetros e indicadores são únicos e específicos para cada região ou atividade, dessa forma, o método de avaliação de vulnerabilidade deve ser adequado para cada situação.

**Figura 2** – Esquema do processo de avaliação de vulnerabilidade.



Fonte: Midgley, Davies, Chesterman, 2011 – Adaptado pela autora, 2021.

### **3.6 Políticas climáticas no mundo**

Por consequência dos riscos ocasionados pelas mudanças climáticas, acordos mundiais foram adotados, principalmente, a partir da década de 1980. Os principais marcos destas ações internacionais foram: a fundação do Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC), a aprovação da Convenção-Quadro das Nações Unidas, a criação do Protocolo de Kyoto e do Acordo de Paris.

Em 1988, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), fundado pela Organização das Nações Unidas (ONU) e por iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM). O IPCC, formado por especialistas de todo o mundo, é responsável por analisar informações científicas, técnicas e socioeconômicas mundiais, para compreender as mudanças climáticas, divulgando de tempos em tempos relatórios acerca do tema. Esses relatórios buscam a promoção de soluções de mitigação e adaptação aos fenômenos decorrentes das alterações climáticas e seus potenciais impactos.

Já em 1992, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, a Rio 92, foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima (UNFCCC). A Convenção tem como objetivo estabilizar a concentração de GEE na atmosfera em um nível que impeça uma interferência humana perigosa no sistema climático. Esse nível deve ser alcançado em um prazo suficiente, permitindo a adaptação natural à mudança do clima, assegurando então que a produção de alimentos não seja ameaçada e permitindo ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável.

A partir disso, foi estabelecida a reunião anual da UNFCCC, chamada de Conferência das Partes (COP), de todos os países que sejam seus signatários. Nas COPs são revistos e propostos novos procedimentos que garantam a efetiva implementação da convenção. Todas as suas decisões só passam a valer se forem tomadas de forma unânime pelas partes, e são válidas para todos os países signatários. A primeira COP ocorreu em 1995 em Berlim, Alemanha.

Em 1997, durante a COP 3, foi elaborado o Protocolo de Kyoto, tratado complementar à UNFCCC que estabeleceu metas individuais e obrigatórias de redução de emissões de GEE para 36 países industrializados e a União Europeia. Para países em desenvolvimento, foram estabelecidas metas voluntárias. Além disso, a partir do

Protocolo foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permite uma flexibilização por meio de uma certificação diante das reduções da emissão do GEE.

Por fim, em 2015, durante a COP 21, foi discutido e implementado o Acordo de Paris, que tem como principal objetivo reduzir as emissões GEE para limitar o aumento médio de temperatura global a 2°C, quando comparado a níveis pré-industriais. Os países signatários apresentaram metas individuais de redução de emissão de GEE a partir de 2020, por meio das chamadas NDCs (Contribuições Nacionalmente Determinadas), e se comprometeram a revisá-las periodicamente.

### **3.7 Políticas climáticas no Brasil**

Diante dos impactos potenciais e dos riscos, o Brasil também adotou políticas e planos nacionais em combate às mudanças climáticas. Inicialmente, em 2009, foi instituído a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), pela Lei nº 12.187/2009, que busca colocar em prática ações para mitigar os impactos negativos das mudanças climáticas sobre as populações, a fim de criar condições internas para o enfrentamento de suas consequências. A partir da Política, foi elaborado o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, que se estrutura em quatro segmentos: oportunidades de mitigação; impactos, vulnerabilidades e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e educação, capacitação e comunicação.

Em 2016, foi implementado o Plano Nacional de Adaptação (PNA), instrumento que visa a identificar os efeitos provocados pela mudança do clima e construir instrumentos que permitam a adaptação dos sistemas naturais, humanos, produtivos e de infraestrutura a eles. O PNA considera 11 setores: agricultura, recursos hídricos, segurança alimentar e nutricional, biodiversidade, cidades, gestão de risco de desastres, indústria e mineração, infraestrutura, povos e populações vulneráveis, saúde e zonas costeiras.

### **3.8 Políticas climáticas em Minas Gerais**

A área de estudo do seguinte trabalho localiza-se no estado de Minas Gerais, sendo então necessária a análise das políticas climáticas adotadas para o estado. Em 2013, foi instituído o Plano de Energia e Mudanças Climáticas (PEMC), que visa promover a transição para a economia de baixo carbono, reduzir a vulnerabilidade às mudanças

climáticas no território mineiro e articular com coerência as diferentes iniciativas governamentais.

O Governo Estadual de Minas Gerais, com apoio da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), também já desenvolveu estudos de vulnerabilidade para todo o estado, a partir da avaliação de indicadores específicos para a região, permitindo a possibilidade e continuidade de estudos futuros, além do desenvolvimento da plataforma “Clima Gerais – Vulnerabilidade Municipal às Mudanças Climáticas” (Clima Gerais, 2021), com dados intrínsecos para os municípios mineiros. Esse compilado de informações proporciona a compreensão dos fatores que tornam as populações vulneráveis e susceptíveis às mudanças climáticas, permitindo a elaboração de ações futuras de adaptação no âmbito local. É importante ressaltar que Minas Gerais é um dos estados brasileiros mais avançados e ativos em relação às políticas de mudanças climáticas.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A Região dos Inconfidentes (**Figura 3**) é formada pelos municípios de Itabirito, Mariana e Ouro Preto e está localizada na região central do Estado de Minas Gerais, à aproximadamente 60 km de distância da capital mineira, Belo Horizonte. Possui uma extensão territorial de 2.984,1 km<sup>2</sup>, onde o município com maior área é o de Ouro Preto com 1.245,8 km<sup>2</sup>. Apesar do nome “Região dos Inconfidentes” se referir às questões históricas e culturais associadas aos três municípios, não existe uma região ou microrregião geográfica com essa denominação e que agregue Itabirito, Mariana e Ouro Preto.

**Figura 3**– Localização geográfica da Região dos Inconfidentes.



Fonte: Autora, 2021.

Os três municípios fazem parte do Circuito da Estrada Real, que consiste em um caminho associado à exploração do ouro e do diamante no Brasil colonial. Dele fazem parte as vias de acesso, as trilhas calçadas pelos escravos, os pontos de parada, as cidades e vilas históricas, que serviram de cenário à Inconfidência Mineira – inspiração para o nome “Região dos Inconfidentes” – principal movimento de contestação à Coroa portuguesa naquela época.

A escolha da região de estudo foi motivada por conta do grande número de eventos climáticos extremos, cada vez mais recorrentes e intensos, o que ocasiona no aumento do risco e da vulnerabilidade da população local. A avaliação da vulnerabilidade e da capacidade adaptativa das cidades da Região dos Inconfidentes permitirá a futura tomada de decisões frente às mudanças climáticas e seus impactos potenciais.

#### 4.1.1 Aspectos socioeconômicos

A Região dos Inconfidentes tem como principal atividade econômica a mineração, prática existente há muitos anos nos municípios. Atrelado a isso e aos inúmeros aspectos históricos e culturais que envolvem a região, podem ser citadas também atividades econômicas essenciais como o turismo, o artesanato e o comércio. Outro ponto forte é a educação, já que a presença e participação da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) influencia positivamente o desenvolvimento socioeconômico da região, principalmente pelo aumento populacional de estudantes.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é utilizado para contrapor o grau de desenvolvimento que se baseia em três parâmetros: saúde, educação e renda per capita. Os valores variam de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1 melhores são as condições em determinada região. O valor médio do IDH dos municípios da Região dos Inconfidentes (**Tabela 2**) é de 0,737 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), um valor um pouco maior quando comparado a todo estado de Minas Gerais (0,731). Além disso, nota-se que Ouro Preto é o município mais populoso, Itabirito possui o maior PIB, enquanto Mariana é o município com menor PIB e maior Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

Segundo o IBGE, o Produto Interno Bruto (PIB) consiste na “soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, geralmente em um ano”.

Na **Tabela 2** estão apresentados os dados referentes às populações totais, urbanas e rurais, além dos valores do PIB e do IDHM para cada município da Região dos Inconfidentes, referentes ao ano de 2018 e 2010, respectivamente.

**Tabela 2** - População, PIB e IDHM dos municípios da Região dos Inconfidentes.

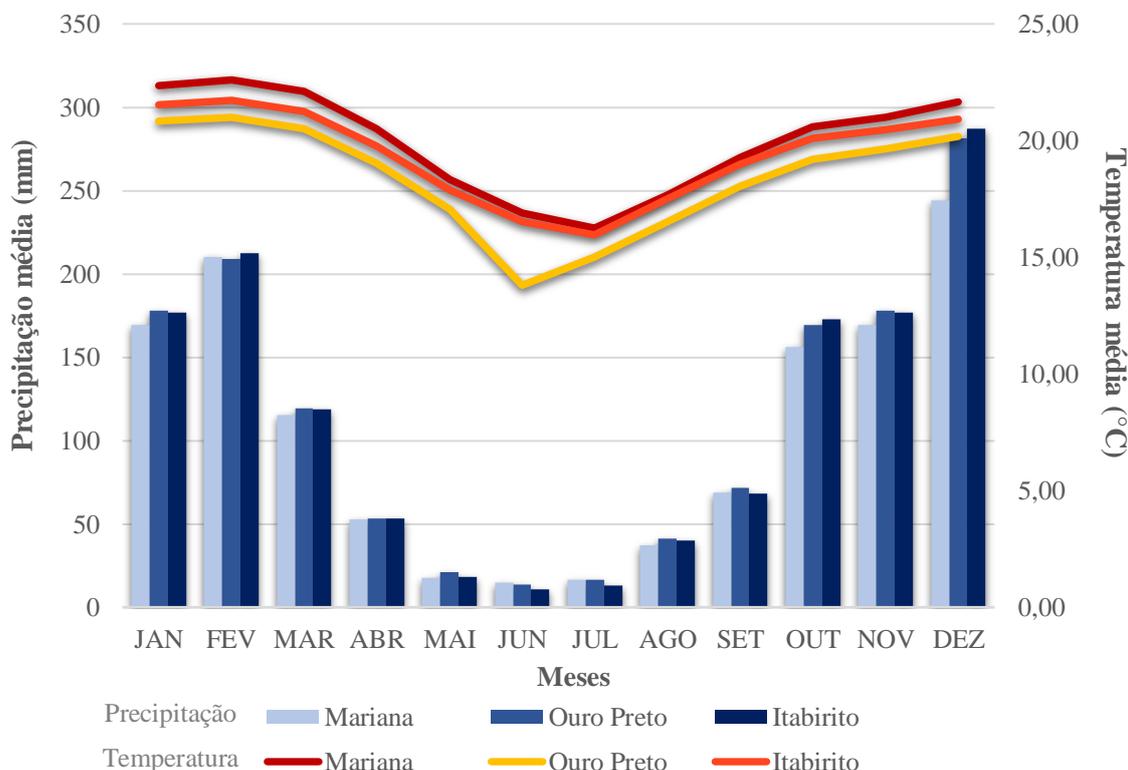
Nome	População Urbana	População Rural	População Total	PIB - 2018 (R\$)	IDHM
Itabirito	43.566	1.883	45.449	97.711,87	0,730
Mariana	47.642	6.577	54.219	45.786,96	0,742
Ouro Preto	61.120	9.161	70.281	92.319,75	0,741
<b>Total</b>	152.328	18.161	169.949	235.818,58	2,213
<b>MÉDIA</b>	50.776	6.053,66	56.649,66	78.606,19	0,737

Fonte: Atlas Brasil e IBGE, 2018.

#### 4.1.2 Aspectos climáticos

No climograma na **Figura 4** está demonstrada a relação entre os parâmetros encontrados para cada município de acordo com a Normal Climatológica 1970-2000 do produto *WorldClim* versão 2.1 (FICK; HIJMANS, 2017).

**Figura 4** – Climograma da Região dos Inconfidentes.



Fonte: FICK; HIJMANS; WorldClim, 2017.

Nota-se que Ouro Preto é o município que apresenta menores índices de temperatura, dado que sua média anual de temperatura é de 18,41 °C. Comparado aos outros municípios da Região dos Inconfidentes, percebe-se que Mariana é o município com menores índices de precipitação e maiores índices de temperatura, apresentando valores médios de 106 mm e 19,94 °C. Enquanto isso, Itabirito é o município com maiores índices pluviométricos, onde sua média anual de precipitação é de 112,7 mm.

Além disso, observa-se que o clima da Região dos Inconfidentes, de forma geral, é tipicamente semelhante ao clima do hemisfério Sul (Tropical), onde nos meses de menores temperaturas (período seco) há menor ocorrência de chuvas e nos meses de maiores temperaturas (período chuvoso), a ocorrência de chuvas é maior.

## 4.2 Análise dos cenários climáticos da Região dos Inconfidentes

Os cenários climáticos da Região dos Inconfidentes foram analisados a partir de dados disponibilizados no *WorldClim*, versão 2.1, referentes à *Future Climate Data* (2021), das variáveis bioclimáticas de temperatura média anual (°C) e precipitação anual (mm), para quatro intervalos de tempo, sendo eles 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100. Esses intervalos foram escolhidos para servirem de comparação e análise das alterações climáticas ao longo dos anos para os três municípios.

Assim, foram escolhidos cinco modelos entre os disponíveis no WorldClim: BCC-CSM2-MR, CNRM-ESM2-1, IPSL-CM6A-LR, MIROC-ES2L e MIR-ESM2-0. A escolha se deu para dois modelos que reconhecidamente estimam temperaturas de superfície do mar mais altas, dois modelos que reconhecidamente estimam temperaturas de superfície do mar mais baixas e um modelo intermediário. Foram analisados dois cenários SSP:

- SSP2-4.5: esse cenário representa a parte média do intervalo de cenários, ou seja, cenários onde são necessários esforços médios na implementação de medidas de adaptação e mitigação. Além disso, atualiza e complementa o cenário RCP4.5. Neste cenário, o desenvolvimento e o crescimento econômico ocorrem de maneira desigual, com alguns países fazendo progressos relativamente bons, enquanto outros ficam aquém das expectativas. Os sistemas ambientais sofrem degradação, embora haja algumas melhorias e, de modo geral, a intensidade do uso de recursos e energia diminua. A desigualdade de renda continua ou melhora lentamente, e, assim, os desafios para diminuir a vulnerabilidade às mudanças climáticas permanecem (RIAHI et al, 2017).
- SSP5-8.5: esse cenário representa o nível mais alto quando comparado aos outros SSPs, sendo necessários grandes esforços e desafios para a mitigação e baixos para a adaptação. Além disso, atualiza e complementa o cenário RCP8.5. Neste cenário, o mundo investe ainda mais no progresso tecnológico e desenvolvimento do capital humano como o caminho para o desenvolvimento sustentável. No entanto, o impulso para o desenvolvimento econômico e social está associado à exploração de abundantes recursos de combustíveis fósseis e à adoção de estilos de vida com uso intensivo de recursos e energia em todo o mundo, aumentando as emissões de CO<sub>2</sub> (RIAHI et al, 2017).

Com isso e por meio do *software* QGis 3.16, realizou-se a análise dos dados, por meio de médias dos cinco modelos adotados, para cada município, variável e cenário.

#### **4.3 Impactos potenciais referentes às mudanças climáticas presentes na Região dos Inconfidentes**

Tendo como base as análises realizadas no item anterior, foi possível identificar os impactos potenciais e decorrentes das mudanças climáticas na Região dos Inconfidentes. Foram avaliados impactos sociais, econômicos e ambientais, baseados em pesquisas bibliográficas, dados públicos disponíveis em fontes oficiais e levantamento de eventos climáticos noticiados na região de estudo.

#### 4.4 Avaliação dos índices de sensibilidade e exposição municipal

Para a elaboração dos índices de sensibilidade e exposição para os municípios, procurou-se por indicadores que expressassem a magnitude dessas variáveis para as pessoas ou para o ambiente. No caso da sensibilidade, levou-se em conta como cada indicador poderia afetar positiva ou negativamente as pessoas e o meio. Assim, foi possível correlacionar a avaliação quantitativa às atribuições qualitativas, como sensibilidade baixa, moderada, alta ou muito alta (**Tabela 3**).

Já para a exposição, foi levado em conta a natureza do impacto relacionado aos impactos potenciais esperados e notados na região, seja ele alto ou baixo (**Tabela 4**). Dessa forma, o levantamento dessas variáveis foi feito a partir de estudos científicos e dados públicos disponíveis em fontes oficiais. Primeiramente, a avaliação dos indicadores de sensibilidade regional se deu pela análise dos fatores sociais, econômicos, ambientais e climáticos diante de circunstâncias positivas e negativas.

A partir dessa análise, foi proposta uma avaliação quantitativa da sensibilidade regional em relação às mudanças climáticas por meio de uma matriz/tabela, com atribuição de valores com diferentes pesos (0 para fatores negativos e 1 para fatores positivos). Esse método foi baseado no “Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais” (FEAM, 2014), realizado pela FEAM em parceria com a EnvirOconsult e a EcoRessources e adaptado para as características locais (**Tabela 5**).

**Tabela 3** – Classificação para a sensibilidade local

0,0000 - 0,2000	Sensibilidade muito alta
0,2001 - 0,4000	Sensibilidade alta
0,4001 - 0,6000	Sensibilidade moderada
0,6001 - 0,8000	Sensibilidade baixa
0,8001 - 1,0000	Sensibilidade muito baixa

Fonte: FEAM, 2014 – Adaptado pela autora, 2021.

Já a avaliação dos indicadores de exposição regional se deu a partir da avaliação dos impactos potenciais (sociais, econômicos e ambientais) referentes às mudanças climáticas (**Tabela 6**). Da mesma forma realizada para a avaliação dos indicadores de

sensibilidade, realizou-se uma matriz/tabela com os principais impactos potenciais, atribuindo-lhes valores com diferentes pesos (0 para alto impacto e 1 para baixo impacto) e atributos qualitativos como exposição baixa, moderada, alta ou muito alta. Este também é um método baseado no “Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais” (FEAM, 2014) e adaptado para as características locais.

A adaptação dos indicadores foi adotada por conta da necessidade de existirem metodologias e resultados cada vez mais adequados perante as características específicas de cada município. A plataforma Clima Gerais (2021) apresenta indicadores pouco abrangentes, já que são utilizados para todos os municípios de Minas Gerais, isto é, apesar de serem municípios de um mesmo estado, são muito diferentes entre si.

**Tabela 4** – Classificação para a exposição local

0,0000 - 0,2000	Exposição muito alta
0,2001 - 0,4000	Exposição alta
0,4001 - 0,6000	Exposição moderada
0,6001 - 0,8000	Exposição baixa
0,8001 - 1,0000	Exposição muito baixa

Fonte: FEAM, 2014 – Adaptado pela autora, 2021.

**Tabela 5** - Fatores de sensibilidade analisados.

FATORES DE SENSIBILIDADE	OURO PRETO	MARIANA	ITABIRITO	FONTE
PIB	1	1	1	IBGE Cidades, 2018.
Renda per capita	1	1	1	IBGE Cidades, 2018.
Dependência econômica do turismo	0	0	0	Painel RAIS - Observatório do Turismo, 2019.
Dependência econômica da mineração	0	0	0	Arrecadação Anual CFEM, 2020.
Dependência energética das fontes sensíveis ao clima	0	0	0	Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais: Setor Energia, 2014.
Condições das infraestruturas rodoviárias	0	0	0	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais, 2018-2021.
Alta urbanização	0	0	0	IBGE Cidades, 2018.

Condições de educação	1	1	1	Universidade Federal de Ouro Preto; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.
Condições de saúde	1	1	1	Santa Casa de Misericórdia de Ouro Preto, Hospital Monsenhor Horta, Hospital São Vicente de Paulo.
Serviços de tratamento de esgoto	0	0	0	SNIS, 2019.
Qualidade ambiental	1	1	1	Estação Ecológica do Tripuí, Parque Estadual do Itacolomi, Parque Municipal das Andorinhas, Monumento Natural Estadual Pico do Itabirito, Estação Ecológica do Arêdes, Floresta Estadual do Uaimii, Seminário Menor de Mariana, Monumento Natural da Serra da Moeda, Monumento Natural de Itatiaia, Parque Estadual Serra do Ouro Branco, Parque Nacional da Serra do Gandarela.
Risco ambiental	0	0	0	Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais, 2014.
Disponibilidade hídrica	1	1	1	Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais, 2014.
Pressão sobre os recursos hídricos	0	0	0	Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais, 2014.

Ocorrência de seca e estiagens	1	1	1	Atlas Brasileiro de Desastres Naturais - Minas Gerais, 1991-2012.
Ocorrência de chuvas intensas	0	0	0	Atlas Brasileiro de Desastres Naturais - Minas Gerais, 1991-2012.
Ocorrência de inundações	0	0	0	Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - CPRM.
Ocorrência de deslizamentos de terreno	0	0	1	Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - CPRM.

Fonte: FEAM, 2014 – Adaptado pela autora, 2021.

**Tabela 6** - Fatores de exposição analisados.

<b>FATORES DE EXPOSIÇÃO</b>	<b>OURO PRETO</b>	<b>MARIANA</b>	<b>ITABIRITO</b>
Aumento da temperatura	0	0	0
Diminuição da precipitação	1	0	1
Aumento da precipitação	1	1	0
Diminuição do PIB	0	0	0
Impactos sobre a saúde humana	0	0	0
Impactos sobre a biodiversidade	0	0	0
Impactos sobre o patrimônio histórico	0	0	0
Impacto da urbanização	0	0	0
Processo de desertificação	1	1	1

Fonte: FEAM, 2014 – Adaptado pela autora, 2021.

#### 4.5 Identificação dos índices de capacidade adaptativa

Para a identificação dos índices de capacidade adaptativa, foi seguida a metodologia aplicada no artigo “*Urban adaptation index: assessing cities readiness to deal with climate change*” (NEDER et al, 2021). A metodologia abordada no artigo consiste na determinação e proposta de 26 indicadores, que consistem desde planos, projetos, programas a leis municipais, que influenciam positivamente os municípios, tornando-os capazes de se adaptarem às mudanças climáticas. A classificação dos indicadores se deu como demonstrado na **Tabela 7**. Dessa forma, foram atribuídos pesos quantitativos (0 para “não possui” e 1 para “possui”), possibilitando a realização de uma média aritmética dos pesos encontrados para os indicadores (**Tabela 8**). A confirmação e fonte dos indicadores se deu por meio de fontes públicas oficiais.

**Tabela 7** - Classificação da capacidade adaptativa municipal

0,0000 - 0,2000	Capacidade adaptativa muito baixa
0,2001 - 0,4000	Capacidade adaptativa baixa
0,4001 - 0,6000	Capacidade adaptativa moderada
0,6001 - 0,8000	Capacidade adaptativa alta
0,8001 - 1,0000	Capacidade adaptativa muito alta

Fonte: NEDER, et al; 2021.

**Tabela 8** - Indicadores de Capacidade Adaptativa analisados (*Urban Adaptation Index* - UAI).

INDICADOR	OURO PRETO	MARIANA	ITABIRITO
Plano municipal de habitação	0	1	1
Câmara municipal	1	1	1
Financiamento municipal de habitação	0	1	1
Plano de mobilidade urbana	0	1	1
Ciclovia	0	0	0
Porta-bicicletas	0	0	0
Transporte público intermunicipal	1	1	1
Transporte público intramunicípio	1	1	1
Agricultura orgânica	0	0	0
Agricultura familiar	1	1	1
Hortas comunitárias	1	1	1
Programa climático para agricultura	0	0	0
Programa de associativismo	1	1	1
Fundo Municipal do Meio Ambiente	0	1	1
Saneamento básico	1	1	1
Proteção Ambiental	1	1	1

Poluição do ar	1	1	0
Proteção da biodiversidade	0	1	1
Adaptação e mitigação do clima	0	0	0
Plano integrado de gestão de resíduos sólidos	0	0	0
Pagamento de serviços ambientais	1	1	1
Lei de uso e ocupação do solo relacionada a prevenção de inundações	0	0	0
Lei de uso e ocupação do solo relacionada a prevenção de deslizamento de terra	0	0	0
Plano municipal de redução de risco	1	1	0
Carta geotécnica de aptidão à urbanização	1	0	0
Defesa Civil Municipal	1	1	1

Fonte: NEDER et al, 2021.

#### 4.6 Identificação da vulnerabilidade da Região dos Inconfidentes

Baseando-se no “Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais” , a vulnerabilidade foi definida por uma avaliação quantitativa a partir dos resultados obtidos para os parâmetros de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa dos municípios (FEAM, 2014).

$$Vulnerabilidade = \frac{Sensibilidade \times Exposição}{Capacidade Adaptativa}$$

Mais especificamente, cada elemento da equação (Sensibilidade, Exposição e Capacidade Adaptativa) é composto pela média dos valores dos índices selecionados. A equação tem a capacidade adaptativa inversamente proporcional à vulnerabilidade devido às definições encontradas nos estudos do IPCC (IPCC, 2007). Assim, por meio da estimativa dos indicadores de sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa, foram atribuídos valores aos indicadores de vulnerabilidade, possibilitando então uma classificação qualitativa (**Tabela 9**).

**Tabela 9** - Classificação da vulnerabilidade local

0,0000 - 0,2000	Vulnerabilidade muito baixa
0,2001 - 0,4000	Vulnerabilidade baixa
0,4001 - 0,6000	Vulnerabilidade moderada
0,6001 - 0,8000	Vulnerabilidade alta
0,8001 - 1,0000	Vulnerabilidade muito alta

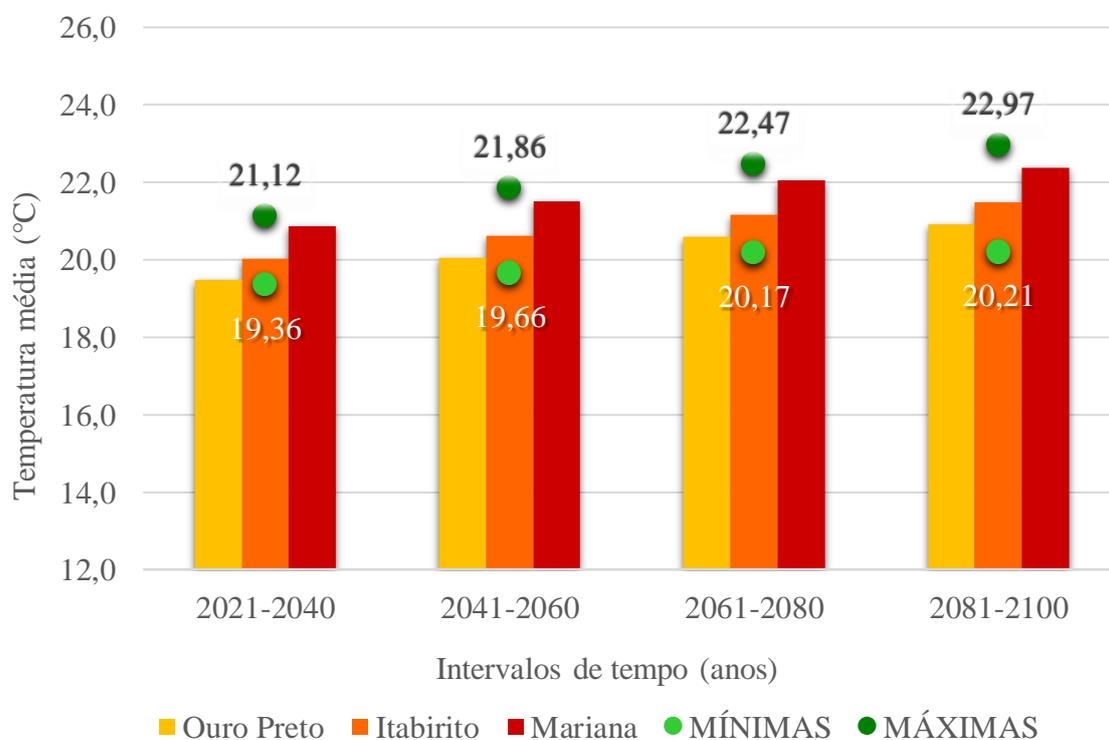
Fonte: FEAM, 2014 – Adaptado pela autora, 2021.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise dos cenários climáticos da Região dos Inconfidentes

A partir dos dados disponibilizados no *WorldClim*, da leitura de dados realizadas por meio do *software* QGIS 3.16, e da média dos cinco modelos climáticos definidos, foi possível chegar em quatro figuras, para cada cenário climático e variável analisada. Cada coluna representa a média aritmética das variáveis encontradas para cada intervalo e município específico. Além disso, por meio dos gráficos são demonstrados os valores mínimos e máximos das variáveis para cada intervalo de tempo. A análise comparativa entre as variáveis e os intervalos de tempo definidos serve de demonstração e comprovação das alterações climáticas ao longo dos anos para a Região dos Inconfidentes. Por meio da análise das médias, é notável o aumento da temperatura e a variação dos índices pluviométricos ao longo do século. Em relação à temperatura média anual, pode-se perceber que para o cenário SSP 2-4.5 (**Figura 5**), as temperaturas são menores quando comparadas com o cenário SSP 5-8.5 (**Figura 6**).

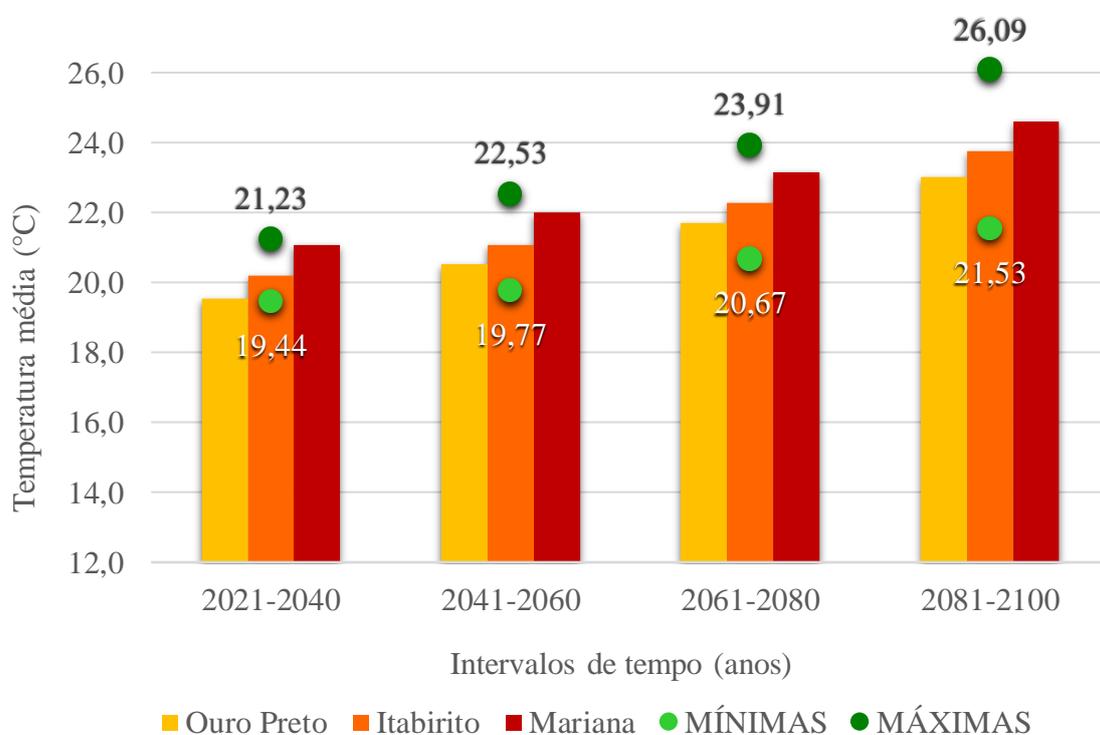
**Figura 5** - Temperatura (SSP 2-4.5).



Fonte: Future Climate Data, WorldClim; 2021.

Ainda assim, nota-se que para os dois cenários, as temperaturas máximas crescem ao longo dos intervalos de tempo e são provenientes do município de Mariana. O mesmo ocorre para as temperaturas mínimas, provenientes do município de Ouro Preto. A temperatura máxima no intervalo de 2081-2100 chegará até 22,97 °C no cenário SSP 2-4.5. Enquanto no cenário SSP 5-8.5, a temperatura máxima chegará até 26,09°C em 2081-2100. A amplitude entre as mínimas e máximas também cresce ao longo dos intervalos de tempo. As temperaturas são muito maiores no cenário SSP 5-8.5 por conta da exploração de abundantes recursos de combustíveis fósseis e da adoção de estilos de vida com uso intensivo de recursos e energia em todo o mundo, aumentando as emissões de CO<sub>2</sub>.

**Figura 6 - Temperatura (SSP 5-8.5)**

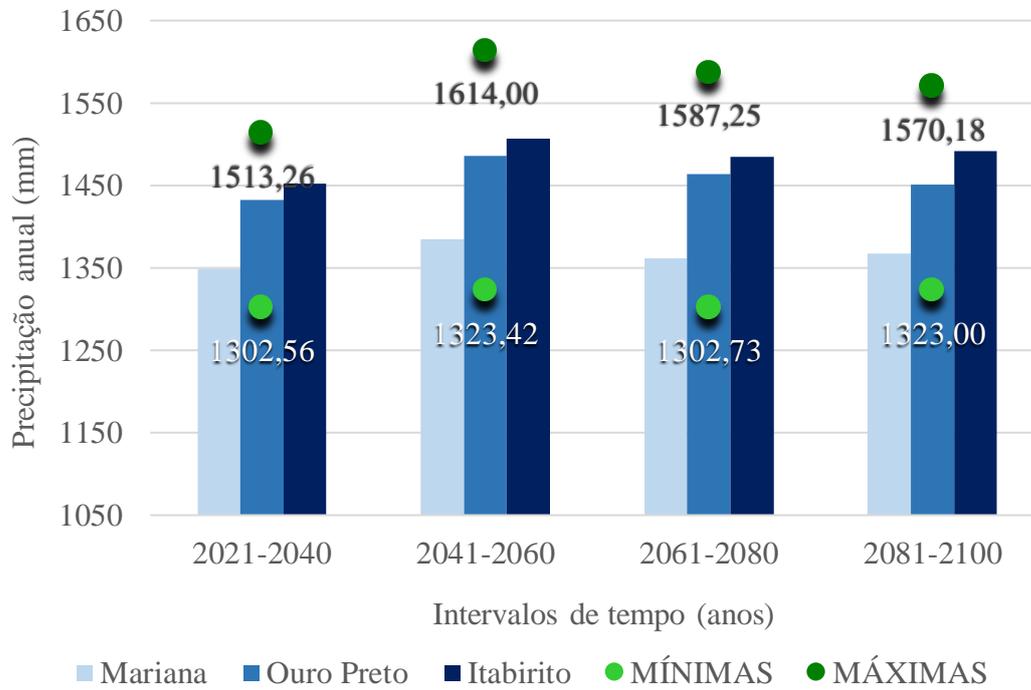


Fonte: Future Climate Data, WorldClim; 2021.

Em relação à precipitação anual, pode-se perceber que para os dois cenários, há uma variação da precipitação anual e as médias são parecidas entre os intervalos, isto é, Itabirito é o município com maiores índices pluviométricos, enquanto Mariana é o município com menores índices pluviométricos. No cenário SSP 2-4.5 (**Figura 7**), o intervalo de 2041-2060 apresenta as maiores médias de precipitação para a região e maior

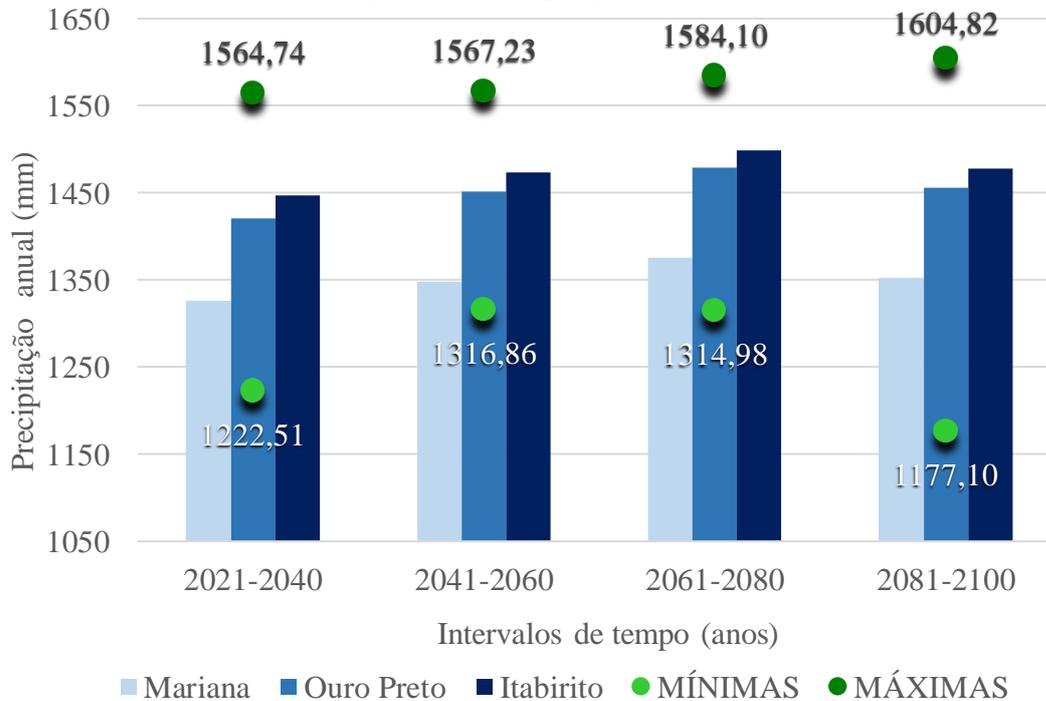
amplitude entre o valor mínimo e máximo, chegando a um valor de até 1614 mm para Itabirito.

**Figura 7 - Precipitação (SSP 2-4.5)**



Fonte: Future Climate Data, WorldClim; 2021.

**Figura 8 - Precipitação (SSP 5-8.5)**



Fonte: Future Climate Data, WorldClim; 2021.

Dessa forma, pode-se concluir que a temperatura, independente do cenário, aumentará em toda a Região dos Inconfidentes, sendo cada vez mais necessária a tomada de decisões diante dos impactos e riscos que isso pode causar, principalmente para o município de Mariana, que apresentou a maior média. Ademais, com relação à precipitação, o cuidado não deve ser diferente. Todos os três municípios são vulneráveis às fortes chuvas e/ou falta delas, principalmente Itabirito, que apresentou a maior média e Mariana, que apresentou a menor média, quando comparadas aos dados da Normal Climatológica 1970-2000 (FICK; HIJMANS, 2017).

## **5.2 Impactos potenciais referentes às mudanças climáticas**

### **5.2.1 Impactos sociais**

Existem diversos impactos sociais, econômicos e ambientais. Espera-se que os impactos potenciais sociais definidos sejam a queda da qualidade de vida das populações, perdas de inúmeras moradias, um aumento das doenças sensíveis ao clima e, conseqüente, um aumento na mortalidade, uma pressão migratória crescente para as zonas urbanas e zonas urbanas especialmente expostas (FEAM, 2014).

Como abordado no item anterior, a temperatura nos três municípios, e nos dois cenários climáticos, possui a tendência de aumentar cada vez mais ao longo dos anos. O aumento da temperatura na região pode ocasionar um aumento na mortalidade, um aumento de doenças sensíveis ao clima e, conseqüentemente, uma queda da qualidade de vida. Os incêndios florestais e fenômenos como a inversão térmica, com as emissões de gases tóxicos associadas, podem intensificar as ocorrências de doenças respiratórias.

Atrelado aos impactos ambientais já notados na região, como deslizamentos de terra e inundações, por exemplo, atingem a população diretamente, intensificando os impactos sociais. A pressão migratória para a zona urbana promove ainda mais a ocupação inadequada de territórios de alto risco e vulnerabilidade. A geomorfologia de Ouro Preto favorece a ocorrência de escorregamentos, que podem afetar parte expressiva da população, bem como destruir o patrimônio histórico edificado.

### **5.2.2 Impactos econômicos**

Para os impactos econômicos, espera-se uma redução do crescimento econômico, um aumento das desigualdades regionais, setor de mineração exposto às alterações hídricas, uma produção energética particularmente exposta, o setor rodoviário, e, principalmente, impactos sobre o turismo devido às atividades econômicas da Região dos Inconfidentes.

Com relação ao setor minerário, eventos climáticos extremos e o aumento da precipitação podem ameaçar e danificar as atividades, já que as operações de mineração são vulneráveis às mudanças climáticas, pois dependente diretamente de recursos naturais e de infraestrutura, o que afeta a produtividade, ocasionando a diminuição da geração de empregos e renda. No entanto, o setor industrial, o que engloba a mineração, pode desempenhar um papel positivo na promoção da resiliência climática de outros setores

econômicos e da sociedade, por meio da sua capacidade de inovação, recursos técnicos e tecnológicos e da capacidade de engajamento de suas cadeias (BRASIL, 2016).

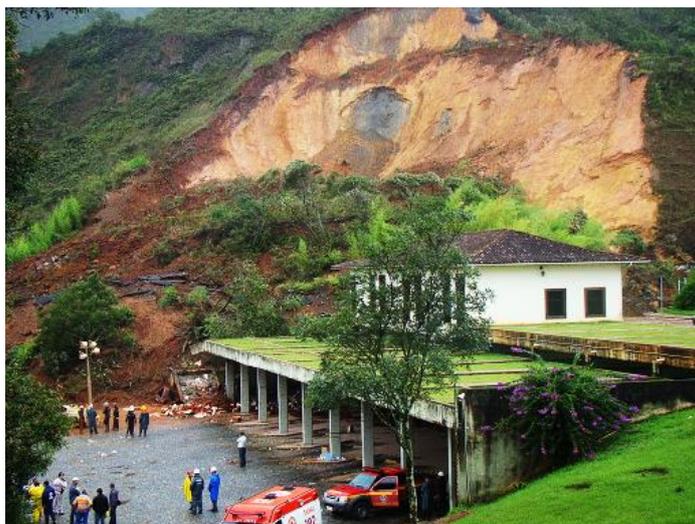
Como grande parte da economia local baseia-se no turismo, os três municípios são altamente sensíveis e afetados pelas mudanças climáticas. Primeiramente, o aumento da temperatura, a variação da precipitação e até mesmo eventos climáticos extremos podem ocasionar destruição, ou até mesmo perda, dos monumentos históricos presentes na região. A possível perda do patrimônio cultural implicaria em inúmeros prejuízos para a memória e a história do país, assim como em danos para milhares de pessoas que têm empregos gerados (ZANIRATO; RIBEIRO, 2014). Apesar disso, ainda não existem muitos estudos que comprovem cientificamente os danos esperados e como as alterações climáticas podem afetar a forma como o turismo é realizado e o quanto isso influenciaria na economia local.

O setor rodoviário também é altamente afetado pelas mudanças climáticas, principalmente devido ao aumento da precipitação ou eventos extremos, afetando os sistemas de drenagem local, muitas vezes com baixa infraestrutura e preparo. Dessa forma, os impactos previstos no transporte terrestre são: o aumento da inundação de estradas, pontes baixas e túneis; aumento da frequência e da gravidade do transbordamento do sistema de drenagem; aumento da inundação de rotas de evacuação; atrasos e interrupções de tráfego de veículos; incidência de catástrofes em estradas causados por deslizamentos de terra e erosão; lavagem das sustentações das pontes e umidade nas fendas, com deterioração da estrutura e deslocamento de tabuleiros; destruição de sinalização de rodovias e pontes (FEAM, 2014).

### **5.2.3 Impactos ambientais**

Os impactos ambientais esperados são o aumento da temperatura, variação dos índices pluviométricos, queda da quantidade e qualidade da água, grandes impactos esperados na distribuição dos biomas, deslizamento de terra e queimadas. As chuvas intensas e o relevo acidentado tornam a região particularmente vulnerável aos deslizamentos de terreno, inundações e cheias (FEAM, 2014). Todos os três municípios já apresentaram ao longo dos anos situações causadas, principalmente por chuvas intensas. Em janeiro de 2012, Ouro Preto vivenciou uma das situações mais trágicas de sua história. Houve um deslizamento de terra próximo ao Terminal Rodoviário (**Figura 9**) do município ocasionando o soterramento de duas vítimas.

**Figura 9** - Deslizamento de terra em Ouro Preto/MG, 2012



Fonte: Jornal O Liberal, 2012.

A tragédia desencadeou também uma das maiores operações de resgate e remoção das cerca de 35 mil toneladas de material acumulado nas proximidades da rodoviária, o equivalente, segundo dados da equipe, a 4 mil caminhões de terra (Jornal O Liberal, 2012). Além de Ouro Preto, Itabirito e Mariana também possuem inúmeros históricos de deslizamentos de terra e inundações. Também em 2012, uma chuva intensa atingiu Itabirito (**Figura 10**), provocando uma inundação no município, principalmente na parte central. Foi necessário o uso de barcos para resgatar mais de 50 moradores em situação de risco (G1, 2012).

**Figura 10** - Inundação em Itabirito/MG, 2012.



Fonte: Fabiano Aganete Santos – G1, 2012.

Apesar de terem sido citadas algumas situações específicas para a região, todos os anos a influência das mudanças climáticas em eventos extremos como esses, cresce ainda mais. Além disso, a falta de planejamento de gestão de risco urbano, sem estratégias de mitigação e adaptação, e com baixo investimento em infraestrutura, pode ampliar a vulnerabilidade das populações locais. Esses eventos afetam principalmente a população mais pobre, que vive em regiões de alto risco, como em áreas com topografia íngreme e más condições de habitação (DALAGNOL et al, 2021).

No entanto, os impactos ambientais não afetam apenas a economia local e a população, mas também os sistemas naturais ali presentes. Foram citados impactos ocasionados por chuvas intensas, mas episódios relacionados à escassez de água e aumento da temperatura também já são notados na região. Em períodos mais secos, o índice de queimadas na região apresenta um aumento notável (**Figura 11**).

**Figura 11** - Incêndio no Parque Estadual do Itacolomi em Ouro Preto/MG, 2020.



Fonte: Divulgação – Corpo de Bombeiros/G1, 2020.

A Região dos Inconfidentes possui inúmeras unidades de conservação, o que torna a região ainda mais exposta e sensível aos impactos potenciais das mudanças climáticas. As alterações climáticas e seus impactos, como o aumento da temperatura e a variação de precipitação, influenciam direta e indiretamente a fauna e flora local, afetando ainda mais a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos locais. Todavia, é necessário levar em consideração que apesar da presença de unidades de conservação ser um fator que aumenta a exposição local, é uma ferramenta potencial para a capacidade de adaptação frente às mudanças climáticas, devido à sua resiliência climática e capacidade de regulação do clima.

### 5.3 Avaliação dos índices de sensibilidade e exposição regional

Por meio da plataforma Clima Gerais (2021), elaborada pelo Governo Estadual de Minas Gerais, é possível realizar uma pesquisa quanto à vulnerabilidade territorial ou municipal em relação às mudanças climáticas. Segundo a plataforma, os municípios de Ouro Preto, Mariana e Itabirito apresentam sensibilidade moderada. Para os resultados referentes à exposição regional, espera-se que os três municípios da Região dos Inconfidentes apresentem alta exposição aos impactos decorrentes das mudanças climáticas. De acordo com a metodologia adotada no trabalho, por meio da análise dos aspectos sociais, econômicos e ambientais da região e dos impactos potenciais, os resultados encontrados foram praticamente similares aos esperados para os dois índices (**Tabela 10**). No entanto, o índice de sensibilidade apresentou resultados diferentes dos esperados para o município de Ouro Preto e Mariana.

**Tabela 10** - Resultados obtidos para os indicadores de sensibilidade e exposição

MUNICÍPIOS	SENSIBILIDADE	EXPOSIÇÃO
OURO PRETO	0,3889 (Alta)	0,3333 (Alta)
MARIANA	0,3889 (Alta)	0,2222 (Alta)
ITABIRITO	0,4444 (Moderada)	0,2222 (Alta)

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que todos os municípios estão em situações semelhantes. Isso pode ser explicado devido às semelhanças existentes entre os aspectos socioeconômicos e ambientais da Região dos Inconfidentes. Os três municípios, por exemplo, possuem a economia altamente dependente da indústria de mineração e do turismo, o que os torna altamente sensíveis e expostos aos impactos potenciais causados pelas mudanças climáticas. O resultado obtido para o município de Itabirito, que foi o único que apresentou sensibilidade moderada, pode ser justificado por possuir um fator positivo, como o risco menor de ocorrência de deslizamentos de terra, quando comparado com os históricos de Mariana e Ouro Preto.

No entanto, também possuem características que favorecem nos resultados, como a presença de inúmeras unidades de conservação na região. O indicador de “qualidade

ambiental” é considerado um fator positivo, pois ecossistemas conservados garantem uma resiliência natural aos impactos negativos das mudanças climáticas, o que reduz a sensibilidade dos municípios.

#### 5.4 Avaliação da capacidade adaptativa

Segundo a plataforma Clima Gerais (2021), os municípios de Ouro Preto e Mariana apresentam capacidade de adaptação moderada, enquanto o município de Itabirito apresenta capacidade de adaptação muito alta.

No entanto, seguindo a metodologia de NEDER et al (2021), Ouro Preto e Itabirito apresentam capacidade de adaptação moderada e Mariana apresenta capacidade de adaptação alta (**Tabela 11**). Essa divergência já era esperada e pode ser explicada devido aos diferentes indicadores analisados. Outro ponto é que alguns planos e projetos ainda estão em andamento e algumas informações não são disponibilizadas por fontes oficiais, o que afeta os resultados. Dessa forma, os planos e projetos que ainda estão em andamento e as informações não encontradas foram consideradas nulas, isto é, presume-se que os municípios não possuem os indicadores analisados.

**Tabela 11** - Resultados obtidos para o indicador de capacidade adaptativa

MUNICÍPIOS	CAPACIDADE ADAPTATIVA
OURO PRETO	0,5000 (Moderada)
MARIANA	0,6538 (Alta)
ITABIRITO	0,5769 (Moderada)

Analisando os indicadores e os resultados obtidos, nota-se como a precariedade de algumas ações municipais, ou até mesmo a existência de leis, porém sem aplicação efetiva, influenciam na capacidade de adaptação. Os municípios precisam cada dia mais se preparem para as mudanças climáticas esperadas, visto os inúmeros impactos potenciais, alguns já notados e que podem se intensificar e outros que podem surgir. Ademais, como discutido no tópico anterior, os três municípios apresentam índices de sensibilidade e exposição preocupantes. As tomadas de decisões por parte do governo

municipal não devem ser prolongadas, pois os eventos climáticos extremos já são uma realidade cada dia mais evidente e intensificada.

### 5.5 Avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas da Região dos Inconfidentes

Conforme a plataforma Clima Gerais (2021), o município de Ouro Preto apresenta vulnerabilidade moderada, Mariana apresenta vulnerabilidade alta, e, por fim, Itabirito apresenta vulnerabilidade relativamente baixa. Devido à diferença dos resultados encontrados e esperados para a capacidade adaptativa dos municípios, os resultados para a vulnerabilidade também apresentaram divergências. Adotando a correlação dos parâmetros, Mariana e Itabirito apresentam vulnerabilidade muito baixa, enquanto Ouro Preto apresenta vulnerabilidade baixa (**Tabela 12**).

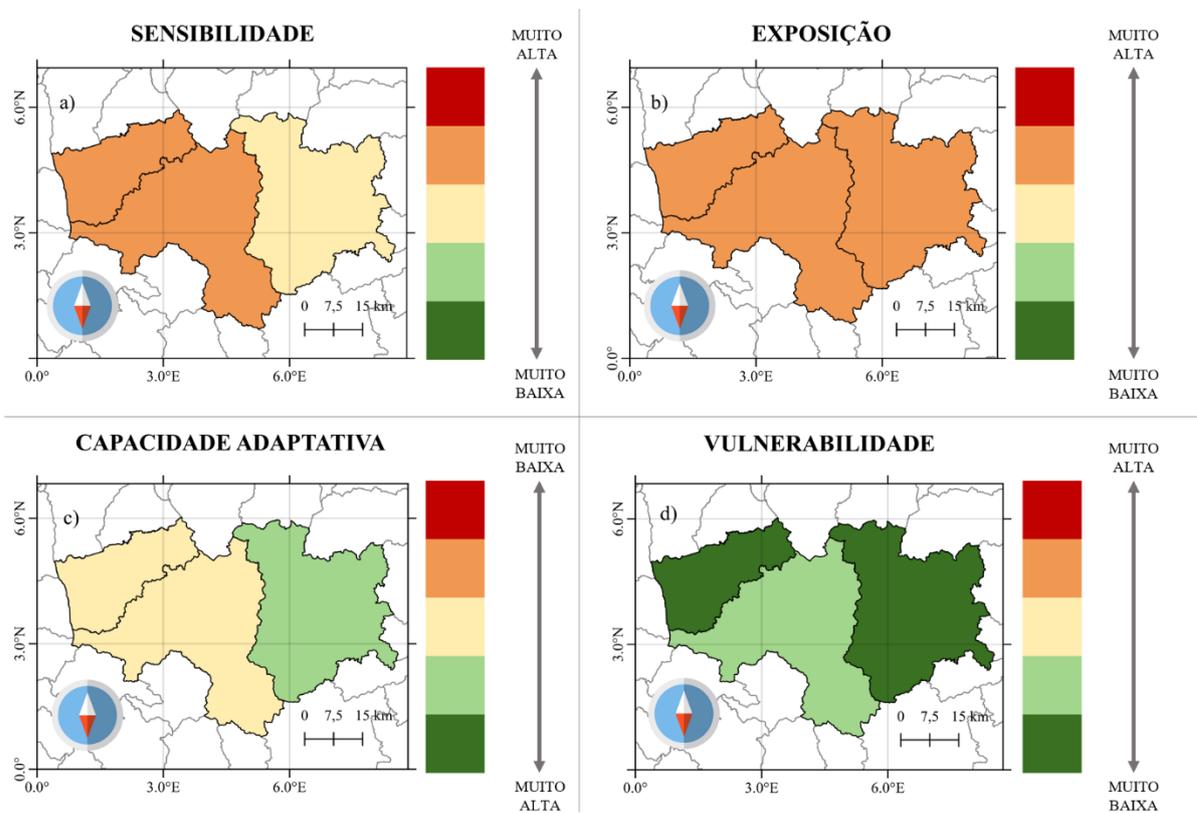
**Tabela 12** - Resultados obtidos para o indicador de vulnerabilidade

MUNICÍPIOS	VULNERABILIDADE
OURO PRETO	0,2592 (Baixa)
MARIANA	0,1322 (Muito baixa)
ITABIRITO	0,1712 (Muito baixa)

Como citado anteriormente, a divergência dos resultados encontrados para os esperados também pode ser explicada pelas diferenças entre os indicadores analisados. Os indicadores escolhidos para o seguinte trabalho baseiam-se na junção de metodologias adotadas para análises regionais, como o Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais (FEAM, 2014), e análises municipais, como o UAI realizado para os municípios do estado de São Paulo (NEDER, et al; 2021). A determinação e escolhas desses indicadores se deu por conta da variedade e especificidade de cada um. É fundamental que sejam realizadas cada vez mais avaliações a níveis regionais e locais, pois cada município e/ou região possuem características próprias e únicas, o que reforça ainda mais a necessidade da especificação dos indicadores para cada tipo de análise.

Um outro fator que justifica os resultados encontrados para os índices de vulnerabilidade é a proporcionalidade do parâmetro de capacidade adaptativa. Sabe-se que a capacidade adaptativa é considerada inversamente proporcional à vulnerabilidade. Os três municípios, seguindo a metodologia adotada, possuem capacidades adaptativas favoráveis, o que afeta diretamente à vulnerabilidade, já que quanto maior a capacidade adaptativa, menor é a vulnerabilidade. Então, apesar dos três municípios apresentarem sensibilidade e exposição relativamente altas, as medidas de adaptação influenciam positivamente na vulnerabilidade frente às mudanças climáticas (**Figura 12**).

**Figura 12** - Mapas dos quatro indicadores avaliados para a Região dos Inconfidentes, Minas Gerais.



Mapas elaborados utilizando o SRC SIRGAS 2000 (Autora, 2021).

Fonte: Autora, 2021.

## 6 CONCLUSÕES.

Ao longo dos últimos anos, os efeitos negativos advindos das mudanças climáticas são cada vez mais notados e intensos. Dessa forma, é ainda mais necessária a promoção de diagnósticos e estudos de avaliação regionais e locais, que busquem identificar as populações vulneráveis a esses efeitos, para uma futura tomada de decisão de ações de adaptação. É fundamental que exista uma articulação entre os municípios e as diferentes esferas governamentais, para determinar as melhores medidas e opções de adaptação para alcançar a resiliência climática.

A partir dos cenários climáticos analisados para a Região dos Inconfidentes, notam-se alterações climáticas ao longo do século, como a variação pluviométrica, que apresenta crescimento em alguns casos e diminuição em outros, além do aumento progressivo da temperatura. Mariana foi o município que apresentou dados mais preocupantes, como a maior média de temperatura e a menor média de precipitação, no intervalo de 2081-2100.

Correlacionados às variações climáticas analisadas, já são notados inúmeros impactos na Região dos Inconfidentes, como deslizamentos de terra, inundações, incêndios florestais, situações já consideradas comuns nos municípios analisados. Além dos impactos já perceptíveis, que podem se intensificar, espera-se que outros possam surgir, principalmente em atividades econômicas como a mineração e o turismo, além do aumento de eventos climáticos extremos na região.

Sendo assim, foram identificados os índices de sensibilidade e exposição em relação às mudanças climáticas. A partir dos aspectos socioeconômicos e ambientais analisados e suas correlações com os impactos potenciais, concluiu-se que os três municípios são altamente sensíveis e expostos às mudanças do clima.

Para o índice de capacidade adaptativa e conforme a metodologia adotada, os municípios de Itabirito e Ouro Preto possuem capacidade adaptativa moderada e Mariana possui capacidade adaptativa alta. Esses resultados indicam que os municípios possuem ações e planos que impulsionam as ações municipais frente às mudanças climáticas, mostrando o quanto estão preparados diante da ocorrência de impactos na região. No entanto, ainda existem inúmeras questões a serem tratadas e que influenciam diretamente

nas medidas de adaptação necessárias, como o planejamento urbano e ações políticas municipais.

Por fim, avaliou-se o índice de vulnerabilidade para os três municípios. Os resultados encontrados foram otimistas, levando em conta os índices de sensibilidade e exposição relativamente altos para a região. Itabirito e Mariana apresentam vulnerabilidade muito baixa, enquanto Ouro Preto apresenta vulnerabilidade baixa. Esses resultados são reflexo dos resultados obtidos para a capacidade adaptativa dos municípios, pois quanto maior a capacidade adaptativa, menor será a vulnerabilidade.

Apesar de já existirem estudos de vulnerabilidade para o estado de Minas Gerais e que apresentam dados para os municípios estudados, é fundamental que cada região ou município elabore seus métodos de avaliação de acordo com as características específicas locais, pois isso pode auxiliar na tomada de decisões dos governos locais. A avaliação de todos esses índices permite a elaboração de medidas e estratégias de adaptação às mudanças climáticas, para a futura implementação, além da atualização dos dados existentes. Assim, é essencial que sejam realizados cada vez mais estudos aprofundados acerca das mudanças climáticas, dos impactos potenciais, e a elaboração de medidas e estratégias de adaptação adequadas para a Região dos Inconfidentes. Além disso, também é interessante que haja uma maior relação entre as universidades e os governos locais para a criação e execução de ações climáticas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AdaptaClima**, 2021. Disponível em: <<http://adaptaclima.mma.gov.br/>>.
- AQUINO, A. R. et al. "Vulnerabilidade ambiental", p. 15 -28. In: **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.
- Clima Gerais**, 2021. Disponível em: <<http://clima-gerais.meioambiente.mg.gov.br/vulnerabilidade-territorial>>.
- DALAGNOL, R. et al. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**, p. cli2.15, 2021.
- FEAM. Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014. 139 p. Disponível em: <[http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/ConteudoArquivos/Diagnostico/AdaptacaoAsMudancasClimaticas/1pemc\\_estudo\\_vulnerabilidade\\_regional\\_ficha\\_catalografica.pdf](http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/ConteudoArquivos/Diagnostico/AdaptacaoAsMudancasClimaticas/1pemc_estudo_vulnerabilidade_regional_ficha_catalografica.pdf)>.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.
- Future Climate Data**, 2021. Disponível em: <<https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html>>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE-a). Cidades@Panorama Brasileiro, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE-b). PGI - Plataforma Geográfica Interativa. Produto Interno Bruto dos Municípios, 2018.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. International Panel on Climate Change.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. International Panel on Climate Change.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. International Panel on Climate Change.
- MIDGLEY, S.J.E, Davies, R.A.G., and Chesterman, S. (2011, November). Climate Risk and vulnerability mapping: status quo (2008) and future (2050).

- Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 2: estratégias setoriais e temáticas. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 2016.
- NEDER, E. A. et al. Urban adaptation index: assessing cities readiness to deal with climate change. **Climatic Change**, v. 166, n. 1–2, p. 16, 2021.
- OBERMAIER, M; ROSA, L.P. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **Estud. av.**, São Paulo , v. 27, n. 78, p. 155-176, 2013.
- Integração das Mudanças Climáticas nos Processos de Desenvolvimento Nacional e na Programação Nacional das Nações Unidas: Guia para Apoiar as Equipes da ONU nos Países na Integração dos Riscos e Oportunidades Climáticas. PNUD: Nova Iorque, NY, EUA, 2011.
- RIAHI, K. et al. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153–168, 2017.
- UNFCCC, What do adaptation to climate change and climate resilience mean?, 2011. Disponível em: <<https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/what-do-adaptation-to-climate-change-and-climate-resilience-mean>>.
- WAY CARBON, BELO HORIZONTE. (2016). “Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte”. Disponível em: <<http://conteudo.waycarbon.com/resumo-para-os-tomadores-de-decisao-estudo-de-vulnerabilidadeas-mudancas-climaticas-de-belo-horizonte>>.
- ZANIRATO, S. H.; RIBEIRO, W. C. Mudanças climáticas e risco ao patrimônio cultural em Ouro Preto – MG - Brasil. **Confins**, n. 21, 2014.