

ESTUDO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS A PARTIR DA LEITURA DOS RELATÓRIOS DO IPCC

Autor

Victor Gabriel de Jesus Cursi

Orientadores

Luiz Carlos Rodrigues de Medeiros

Luciana Novais Correia Santos

E.E. Lydia Kitz Moreira

Resumo

As mudanças climáticas são um problema reconhecido desde o século XX. Os efeitos negativos dessas mudanças são conhecidos por prejudicar tanto a humanidade quanto a biodiversidade. O planeta Terra vem enfrentando verdadeiros desafios relacionados ao aquecimento global, nem mesmo a própria natureza consegue conter os efeitos negativos dessas mudanças. Apesar disso, esse estudo se propõe a investigar e estudar como essas variáveis climáticas acontecem, quais os principais órgãos governamentais responsáveis por essa temática, qual a modelagem climática para o futuro, e as estratégias de mitigação contra os efeitos negativos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Efeitos negativos. Mitigação. Desafios. Aquecimento global.

Introdução

As mudanças climáticas são problemas estudados há muito tempo, apesar do tema vir a público com maior força no final do século XX e início do século XXI, diversos cientistas estudavam essas mudanças e perceberam que a revolução industrial contribuiu para essas variações climáticas.

Joseph Fourie, em 1827, foi o primeiro cientista a perceber a importância de estudar as mudanças climáticas e como elas ocorrem. Com essa dúvida em mente, Joseph descobriu que o mecanismo do sistema climático terrestre é parecido com a forma que uma estufa funciona. Ou seja, a atmosfera terrestre funciona como um vidro de uma estufa. Os gases responsáveis pelo Efeito Estufa, CO₂, CH₄ e Vapor da água, retêm o calor (radiação infravermelha), e não o deixa escapar, fazendo com que o clima na terra seja mais quente do que se esses gases deixassem a radiação infravermelha escapar para o espaço.

O químico sueco Svante Arrhenius, em 1896, fez uma das descobertas mais importantes acerca das emissões dos GEE (gases do Efeito Estufa). Arrhenius afirmou que a emissão de CO₂, resultante das atividades industriais, provocaria um aumento na concentração atmosférica de CO₂ (FILIPE DUARTE, 2007). Apesar de afirmar que as ações antropogênicas poderiam afetar o clima futuro, Arrhenius acreditava que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera poderia fornecer um clima melhor para a Terra futuramente, “especialmente nas partes mais frias da Terra” (ARRHENIUS, 1908). A interferência antropogênica sobre o clima, não foi do

interesse dos cientistas até o ano de 1938, quando Cuy Stewart Callendar, afirmara que a temperatura média global obteve um aumento desde o ano de 1800, provocado pela queima de combustíveis fósseis causada pelas atividades industriais. Essa observação foi feita a partir de mais de 200 observatórios meteorológicos e pelo recuo dos glaciares das montanhas (FILIPE DUARTE, 2007).

Entendendo como funciona o sistema climático terrestre, após o ano de 1938, cientistas começaram a se interessar por essa abordagem de Callendar, que afirmava que a interferência antropogênica é um dos principais causadores das mudanças climáticas. Portanto, esse estudo tem o objetivo de estudar relatórios do Painel Intergovernamental Sobre as Mudanças Climáticas (IPCC), para entender como funcionam as variáveis climáticas, os problemas relacionados e maneiras de mitigar os efeitos negativos relacionados a elas.

Objetivo

1. Estudar, analisar e compreender as alterações climáticas a partir do olhar dos estudos do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, ou Painel Intergovernamental Para as Alterações Climáticas);
2. Entender os fenômenos e variáveis envolvidas nas mudanças climáticas;
3. Estudar as políticas públicas ambientais, em especial, na cidade de Guarulhos.
4. Compreender o funcionamento de um pluviômetro.

Metodologia

Livros, artigos online, artigos em formato PDF, relatórios do IPCC, IA, Google e todos os Meios de pesquisa possíveis. Utilizaremos também dois protótipos de pluviômetro caseiro, os protótipos têm a função de experimentar e vivenciar o controle de uma variável da natureza (nível de chuvas), onde mediremos diariamente a quantidade de precipitação em milímetros e litros. O protótipo nº1 será feito com uma garrafa pet de 5L, uma fita métrica, um cano de PVC, um balde, cimento, areia e sisal (tipo de corda).

O protótipo nº2 será feito com uma proveta, uma haste, uma base de metal, um pregador de madeira, mufa e fita. Para as pesquisas teóricas, utilizaremos caderno, um app chamado

Milanote, Word e WhatsApp. Todos com a finalidade de discutir, anotar e escrever relatórios do projeto.

Desenvolvimento

Contextualizando o cenário de estudo

O tema do nosso projeto é muito complexo, vai além de conclusões superficiais ou hipóteses simples. O desenvolvimento do projeto foi longo e árduo, ler artigos e relatórios foi a principal fonte de pesquisa, o que significa serem muitas informações não vistas antes. O objetivo, desde sempre, era explicar as mudanças climáticas, entretanto, isso vai muito além do que imaginava, as mudanças climáticas não podem ser explicadas simplesmente dizendo que as ações antropogênicas são responsáveis por todo o processo de aquecimento global.

As explicações para esse processo partem de grandes modelos matemáticos e ecológicos (IPCC, 2018). O famoso “Efeito borboleta”, por exemplo, partiu de um matemático chamado Edward Lorenz, que ao realizar um projeto de simulação de fenômenos meteorológicos e de previsão de tempo com computadores, percebeu acidentalmente, “que se modificasse apenas a quarta casa decimal de um dos dados, o resultado após alguns meses, seria completamente diferente do original. Essa mudança é amplificada pelas inúmeras operações realizadas pelo modelo de simulação” (Filipe Duarte, 2007).

Essa informação nos leva ao entendimento de que o clima não pode ser previsto facilmente, e isso explica muitas coisas, inclusive o desastre do Rio Grande do Sul. Apesar da incrível tecnologia atual, segundo o físico Filipe Duarte (2007), “Apesar do clima ser imprevisível, podemos fazer previsões precisas em um período de cerca de 7 a 10 dias”. Além disso, o clima pode ser observado de outra forma, não como um “monstro impossível de prever”, mas com um certo padrão observável por variáveis de medição (Filipe Duarte, 2007).

Experimento com Pluviômetro

A construção do pluviômetro partiu da necessidade de explicar como medir a quantidade de chuva. Para isso, após pesquisas na internet, descobrimos a ferramenta pluviômetro de coleta direta, muito utilizada em áreas rurais, onde não se tem tanta tecnologia. O pluviômetro de coleta direta, em uma breve explicação, é o tipo mais simples e comum de pluviômetro. Ele

consiste em um recipiente cilíndrico que coleta a água da chuva. A precipitação acumulada é medida diretamente em milímetros (mm), correspondendo à altura da coluna de água no recipiente. A quantidade de chuva é lida periodicamente, geralmente diariamente. Para fins de curiosidade, existem outros três tipos de pluviômetro, pluviômetro de cesto basculante (pluviômetro de balanço), Pluviômetro de Balança, Pluviômetro de Radar e Laser.

O procedimento que utilizamos para analisar, foram organizados antes de iniciarmos a construção do protótipo. O pluviômetro deve ser instalado em uma área aberta, longe de obstáculos que possam bloquear ou desviar a chuva, como árvores e edifícios. A coleta de dados pode ser manual ou automática, a depender do tipo de pluviômetro. Nos modelos manuais, no nosso caso, a leitura é feita regularmente por uma pessoa. Nos modelos automáticos, os dados são registrados e armazenados eletronicamente. Os dados coletados são analisados para determinar a quantidade de precipitação em um determinado período. Isso pode ser feito diária, semanal ou mensalmente, conforme necessário.

Após reuniões, decidimos fazer um protótipo simples, com intuito de compreender o conceito e como usá-lo. Para o protótipo número um, os materiais que utilizamos foram:

- Uma garrafa de plástico de 5L.
- Uma fita métrica.
- Uma fita adesiva Durex.
- Um cano de PVC de 1,80 m de altura.
- Um balde.
- Um pouco de cimento e areia (Não temos a quantidade correta).
- 1 corda caseira feita pelo Kauã utilizando sisal.

O processo de montagem do recipiente foi simples, primeiro medimos e cortamos a garrafa de 5L, separamos a tampa e invertemos, ou seja, utilizamos a tampa da garrafa como um funil. Encontramos alguns problemas, como o funil ter ficado um pouco torto. Após montar o recipiente, partimos para a construção da estrutura que suportaria o pluviômetro. Utilizamos o balde com cimento, e inserimos o cano de PVC no meio do balde. Após isso, a corda de sisal foi usada para amarrar o recipiente no cano de PVC, além da corda, colocamos fita para reforçar.

Após a montagem, o pluviômetro já estava pronto para uso.

Para realizar a medição, utilizamos uma tabela com todos os dias do mês, então todos os dias que choviam anotávamos na tabela, para garantir a organização, e ao final do mês totalizar a quantidade de chuva. As unidades de medida que queríamos eram em milímetros (mm) e litros(L), portanto era necessário fazer cálculos para chegar aos resultados, já que a fita métrica media em centímetros(cm).

O método de cálculo que utilizamos fora uma equação direta: Altura da chuva (em mm) = Altura da água no pluviômetro (em cm) $\times$ 10. Para transformar em litros, no pluviômetro cada 1 mm equivale a 1L/m² (G1 Minas, 2022). A fim de melhorar a precisão e a estética do pluviômetro, partimos para a construção do protótipo número dois. O segundo protótipo foi feito com materiais da escola:

- Base de metal.
- Haste.
- Proveta.
- Pregador de madeira.
- Mufa.
- Fita.

Para o processo de montagem, com a haste encaixada na base de metal, a proveta serve como o recipiente no qual a água cairá, o pregador segura a proveta e a mufa conecta o pregador de madeira na haste. Utilizamos a fita para reforçar o pregador. Ao contrário do primeiro protótipo, o segundo é menor e foi menos trabalhoso de lidar e construir. O método utilizado para a medição foi diferente, já que a proveta mede em mililitros(ml) e não em centímetros (cm), como a conversão de ML para MM é um pouco diferente, precisei fazer alguns cálculos a mais. Para o transformar em MM, $MM = L \div A$. Como eu não tinha a medida correta da área, precisei fazer outro cálculo. Como não estava com nenhum instrumento de medida, medi com o meu dedinho, e observei que o diâmetro da boca tem aproximadamente 2,5cm ou 0,025 m². Logo, para descobrir a área total, utilizei a fórmula $A = \pi \times (D \div 2)^2$, substituindo os valores, $A = \pi \times (0,025 \div 2)^2 = (3,14 \times 0,000156)^2 \approx 0,000490m^2$ assim sendo, a área da boca do pluviômetro é de aproximadamente 0,000490m². Apesar de construirmos o segundo protótipo, não descartamos o primeiro.

Criação do IPCC

O aumento das pesquisas sobre as mudanças climáticas e suas problemáticas fizeram com que o assunto fosse abordado em eventos políticos. Ao final do século XX, as discussões acerca das variações climáticas, passaram a ser um tema importante, o que acarretou a Conferência de Toronto em 1986, no Canadá.

Nessa conferência, chegaram à conclusão de que seria necessária uma instituição mundial focada no estudo das mudanças climáticas e os seus efeitos. Portanto, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a Organização Mundial de Meteorologia (WMO) criaram no ano de 1988 o Painel Intercontinental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com a intenção de que criassem relatórios sobre a situação climática mundial com base e veracidade científica (José Ribamar, et al, 2024).

No ano de 1988, países iniciam acordos internacionais para reduzir a emissão dos GEE. No Rio de Janeiro, houve uma conferência chamada de Eco 92, onde houve a composição do documento chamado Agenda 21. Neste documento, abrevia-se o modelo de desenvolvimento praticado, e propõe um modelo sustentável a ser seguido pelos países signatários. No ano de 1993, foi realizado em Quioto, no Japão, o evento Rio+5 em que discutira os progressos da Agenda 21. Neste encontro, houve a elaboração de um documento mais rígido que a Agenda 21, o Protocolo de Quioto, que traz consigo uma meta de redução dos GEE em 5,2% em relação aos níveis do ano de 1990, entre 2008 e 2012. O protocolo de Quioto não contou com a assinatura dos Estados Unidos, responsável por uma boa quantidade de GEE liberados na atmosfera.

Em 2015, após discussões de países ricos, e do reconhecimento da necessidade de um programa mundial para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, houve a criação de outro documento, em Paris, França, chamado Protocolo de Paris. O documento agora contou com a assinatura dos Estados Unidos. Neste acordo, tanto os países desenvolvidos quanto os países em desenvolvimento, através de planejamentos locais, devem impedir que o aquecimento do planeta passe de 2°C em comparação a temperatura média do ano de 1950 até o ano de 2020.

Estrutura do IPCC

Como parte do seu trabalho, o IPCC desenvolve periodicamente, relatórios detalhados sobre o processo do aquecimento global e como as mudanças climáticas podem afetar o nosso

cotidiano e a vida no planeta. O IPCC se divide em três grupos de trabalho e uma força tarefa sobre Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. O grupo de trabalho 1 (Work Group 1 – WG 1) é responsável por avaliar os aspectos físicos das mudanças climáticas.

O WG 2 é responsável pela avaliação da vulnerabilidade socioeconômica dos sistemas naturais capturados pelos efeitos das mudanças climáticas. O WG 3 é responsável por avaliar opções para mitigar as mudanças climáticas através de limitações da emissão dos GEE (gases do Efeito Estufa). Os trabalhos do IPCC vêm sendo feitos desde 1988, e os relatórios estão sendo publicados desde 1990, quando o primeiro relatório veio a público (José Ribamar, et al, 2024).

É interessante salientar que os relatórios do IPCC, são alinhados com a Agenda 2030 da ONU (Organização das Nações Unidas) (Plano De Adaptação E Resiliência À Mudança Do Clima De Guarulhos, 2022). A Agenda 2030 da ONU é um plano global apresentado e acordado em 2015 por todos os membros reconhecidos das Nações Unidas. Com o objetivo de promover um desenvolvimento sustentável até 2030, ela é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que abordam diversas áreas. Nos quais os principais objetivos são:

1. **Erradicação da Pobreza:** Acabar com a pobreza.
2. **Fome Zero:** Erradicar a fome.
3. **Saúde e Bem-Estar:** Garantir saúde e qualidade de vida a todos.
4. **Educação de Qualidade.**
5. **Igualdade de Gênero.**
6. **Água Potável e Saneamento:** Garantir disponibilidade hídrica e saneamento sustentável.
7. **Energia Limpa e Acessível:** Produzir Energia sustentável e acessível.
8. **Trabalho Decente e Crescimento Econômico.**
9. **Indústria, Inovação e Infraestrutura:** Construir infraestruturas resilientes e promover a industrialização sustentável.

10. Redução das Desigualdades.
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis.
12. Consumo e Produção Responsáveis.
13. Ação Contra a Mudança Global do Clima
14. Vida na Água: Conservar a vida marinha e os recursos do oceano.
15. Vida Terrestre: Promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres.
16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes.
17. Parcerias e Meios de Implementação: Reiterar a parceria global para o desenvolvimento sustentável da humanidade.

Figura 1 - Representação dos ODSs



Fonte: Gt Agenda 2030¹

¹ Dados informativos acerca da figura 1: <https://gtagenda2030.org.br/ods/>

Modelagens do IPCC

Os modelos do IPCC se baseiam na construção de cenários de emissões de GEEs e a situação do forçamento radioativo relacionado ao Efeito Estufa. Considerando inclusive características sociais, econômicas e industriais, na busca por representações mais acuradas das respostas do ambiente às forças antropogênicas causadoras das mudanças climáticas globais (JOSÉ RIBAMAR, et al, 2024).

Existem os chamados SSP (Shared Socioeconomic Pathways ou Caminhos Socioeconômicos Compartilhados) que são cenários das projeções das mudanças socioeconômicas projetadas até 2100. Existem cinco SSPs, representados abaixo.

Figura 2 - Cenários SSPs.

	Emissões de GEEs	Cenário
SSP 1 Caminho verde	MUITO BAIXO. Emissões líquidas negativas por volta de 2050 e após.	O mundo caminha gradualmente na direção mais sustentável, enfatizando um desenvolvimento mais inclusivo que respeita os limites ambientais.
SSP 2 Caminho do meio	BAIXO. Emissões zero por volta de 2050 e após.	O mundo caminha para um cenário no qual os padrões sociais, econômicos e tecnológicos não mudam muito comparado à perspectiva histórica. Poucos países fazem progresso, enquanto a maioria não.
SSP 3 Caminho da rivalidade	INTERMEDIÁRIO. Emissões se mantém até 2050	Nacionalismos ressurgentes preocupados com a competitividade e segurança nacional. Conflitos regionais empurram os países a se

		preocuparem sobretudo com seus interesses domésticos.
SSP 4 Caminho da desigualdade	ALTO. Emissões dobram em 2100	Investimentos altamente desiguais no capital humano, combinado com aumento das disparidades em oportunidades econômicas e políticas, levam ao aumento das desigualdades e da estratificação entre os países.
SSP 5 Caminho dos combustíveis fósseis	MUITO ALTO. Emissões dobram em 2050	Neste cenário o mundo opta pelo crescimento do interesse na competição dos mercados. Os mercados globais estão cada vez mais integrados. Há um desenvolvimento econômico cada vez mais eficiente e associação à exploração abundante de recursos como combustíveis fósseis e à adoção de estilos de vida com uso intensivo de recursos e energia.

Fonte: Geo Costeira (2021)²

Os SSPs normalmente são acompanhados por valores. O SSP 1, por exemplo, é utilizado nos relatórios como SSP 1-1.9. Esse valor “1.9” refere-se ao RCP 1.9 (Representative Concentrations Pathway ou Caminhos de Concentração Representativos). Os RCPs formam um conjunto de concentrações de gases de efeito estufa e vias de emissão projetadas para apoiar a pesquisa sobre impactos e possíveis respostas políticas às mudanças climáticas elaboradas a partir do Quinto relatório de Avaliação do IPCC, no ano de 2013. Ou seja, neste contexto, os RCPs medem o nível da forçante radiativa projetada até o ano de 2100. A unidade de medida

² Dados acerca da figura 2: <https://www.youtube.com/watch?v=uWAVIzBJeZg>

utilizada para as medições é em W/m² ou Watts por metro quadrado. (JOSÉ RIBAMAR, et al, 2024) (IPCC, 2021).

Figura 3 - Cenários RCPs

RCP	Cenário
RCP 1.9	É um caminho que limita o aquecimento global em níveis inferiores a 1,5°C
RCP 2.6	É um caminho que requer que o dióxido de carbono (CO2) e suas emissões comecem a diminuir em 2020 e vão para zero em 2100. Também requer que as emissões de Metano (CH4) vá para aproximadamente metade dos níveis de 2020, e que as emissões de dióxido de enxofre (SO2) diminuam para aproximadamente 10% das de 1980-1990.
RCP 4.5	É um caminho intermediário. As emissões atingem o pico por volta de 2040 e após diminuem.
RCP 7.0	É mais um caminho de linha de base ao invés de uma meta de mitigação.
RCP 8.5	É o caminho nos quais as emissões continuam a aumentar ao longo do século 21. Geralmente tomado como base para os piores cenários de mudanças climática.

Fonte: Geo Costeira (2021)³

Apesar dos RCPs serem utilizados em alguns relatórios, o seu uso foi encerrado após o relatório do IPCC de 2015 (AR5). Portanto, o nivelamento da forçante radiativa foi acoplado aos SSPs.

Para os cenários temporais também são utilizadas siglas. Essas siglas são responsáveis por organizar o período e o prazo de cada cenário em um gráfico.

Figura 4 – Siglas que representam cenários temporais.

CENÁRIOS TEMPORAIS		
2021 – 2040	2041 - 2060	2081 - 2100
Curto Prazo (Near-term)	Médio Prazo (Mid-term)	Longo Prazo (Long-term)

Fonte: Geo Costeira (2021)⁴

³ Dados informativos acerca da figura 3: <https://www.youtube.com/watch?v=uWAVIzBJeZg>

⁴ Dados acerca da figura 4: <https://www.youtube.com/watch?v=uWAVIzBJeZg>

Quando comparamos um resultado com esses cenários temporais, temos como principal fonte de comparação, a média calculada de 1850 a 1900 (GEO COSTEIRA, 2021). Nesse sentido, quando digo que a temperatura média global teve um aumento de 1,5 °C, não significa que a temperatura média global era 0 °C, mas sim que ao comparar com a temperatura dos anos 1850 a 1900, ela obteve um aumento de 1,5 °C.

As variáveis estudadas para chegar aos cenários são feitas a partir da relação entre as temperaturas do globo, as características bioclimáticas de cada região do globo, associadas a características específicas do que se deseja avaliar. A modelagem relaciona as características fisiológicas das espécies, e consequente capacidade adaptativa, com as características bioclimáticas características de cada um dos cenários.

Figura 5 – Tabela das variáveis climáticas.

Código	Variável ambiental	Unidade de medida em graus celsius (°C)
Bio 1	Temperatura anual média	°C
Bio 2	Amplitude diurna média (Média de mensal (temperatura máxima de temp-min)	°C
Bio 3	Isotermalidade (Bio2/Bio7) (X100)	-
Bio 4	Sazonalidade de temperatura (Desvio padrão x 100)	C of V
Bio 5	Temperatura máxima do mês mais quente	°C
Bio 6	Temperatura do mês mais frio	°C
Bio 7	Amplitude de temperatura anual (Bio5-Bio6)	°C
Bio 8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C

Bio 9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
Bio 10	Temperatura média do trimestre mais quente	°C
Bio 11	Temperatura média do trimestre mais frio	°C
Bio 12	Precipitação anual	mm
Bio 13	Precipitação do mês mais úmido	mm
Bio 14	Precipitação do mês mais seco	mm
Bio 15	Sazonalidade de precipitação (Coeficiente de Variação)	mm
Bio 16	Precipitação do trimestre mais úmido	mm
Bio 17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
Bio 18	Precipitação do trimestre mais quente	mm
Bio 19	Precipitação do trimestre mais frio	mm
Fonte: (José Ribamar, et al, 2024)		

Essas variáveis são utilizadas para prever possíveis acontecimentos futuros, e estão encaixadas em modelagens computacionais. (FILIPE DUARTE, 2007). Utilizando essas variáveis, os primeiros relatórios do IPCC, eram mais informativos, para que a população leiga no assunto pudesse compreender e “comprar” essa ideia. Essa necessidade vinha da pressão que os pesquisadores sofriam e ainda sofrem por parte dos governos de países desenvolvidos, assim como de grandes empresas que percebiam prejuízos com a redução dos GEEs (gases do Efeito Estufa) (JOSÉ RIBAMAR, et al, 2024).

Segundo o relatório do IPCC (2018), o objetivo até o ano de 2030 era limitar o aquecimento global à 1,5 °C, e afirmavam que “Até o momento, é improvável que as emissões

antrópicas (incluindo gases de efeito estufa, aerossóis e seus precursores) causem aquecimento adicional superior a 0,5 °C nas próximas duas ou três décadas (alta confiança) ou em uma escala de tempo secular (confiança média)”. Atualmente, no ano de 2024, conforme o Plano de Adaptação e Resiliência à Mudança do Clima de Guarulhos (2022), fora utilizado para análises, o RCP 8.5, que representa o pior cenário de forçamento radiativo, isso significa que atualmente estamos caminhando para a direção do RCP 8.5.

Prevendo que a emissão dos GEEs (gases do Efeito Estufa) não cessará, pelo contrário, continuarão aumentando. No RCP 8.5, a temperatura média global sofrerá uma elevação entre 2,6 a 4,8 °C, o que é muito diferente do limite previsto pelo IPCC em 2018.

Figura 6 - Forçante radiativa (RCP W/m²)

RCP	Forçante Radioativa(W/m²)	Política climática	CO2 equivalente (ppm)	Aumento na T. Média do ar (°C)	Aumento no nível do mar
2,6	2,6	Mitigação	475	0,3 °C - 1,7 °C	26 – 55 cm
4,5	4,5	Estabilização	630	1,1 °C - 2,6 °C	32 – 63 cm
6,0	6,0	Estabilização	800	1,4 °C - 3,1 °C	33 – 63 cm
8.5	8,5	Altas emissões	1313	2,6 °C - 4,8 °C	45 – 82 cm

Fonte: Plano de Adaptação e Resiliência a Mudanças do Clima de Guarulhos (2022).

Notas: W/m-2 (watts por metro quadrado): Forçante radiativa é uma medida da influência que um fator tem em alterar o balanço energético do sistema Terra atmosfera e é um índice da importância deste fator como mecanismo potencial de mudança climática. “PPM” significa Partes Por Milhão.

Para exemplificar como são estudadas as variáveis de um modelo, fizemos um experimento investigativo, onde uma das variáveis de medição faz parte do projeto, o pluviômetro de coleta direta, que mede a variável da precipitação. Com o pluviômetro podemos

entender a relação do mês com a quantidade de precipitação. No final do mês de julho e por todo o mês de agosto, os resultados obtidos foram de apenas três dias de chuva. No dia 27/7/2024 choveram 15 mm ou 15 L/m², no dia 07/08/2024 150 mm ou 150 L/m² (baixa confiança nesse resultado, foi o estopim para a construção do segundo protótipo), no dia 10/08/2024 a quantidade foi de 61,2 mm ou 61,2 L/m².

Figura 7 - Tabela com os dados coletados.

Quantidade de precipitação em milímetros (MM)	Quantidade de precipitação em litros por metro quadrado (L/m²)	Dia e mês
15 mm	15 L/m ²	31/01
0	0	01/08
0	0	02/08
0	0	03/08
0	0	04/08
0	0	05/08
0	0	06/08
150 mm	150 L/m ²	07/08
0	0	08/08
0	0	09/08
61,2 mm	61,2 L/m ²	10/08
0	0	11/08
0	0	12/08
0	0	13/08
0	0	14/08
0	0	15/08
0	0	16/08
0	0	17/08
0	0	18/08
0	0	19/08
0	0	20/08
0	0	21/08

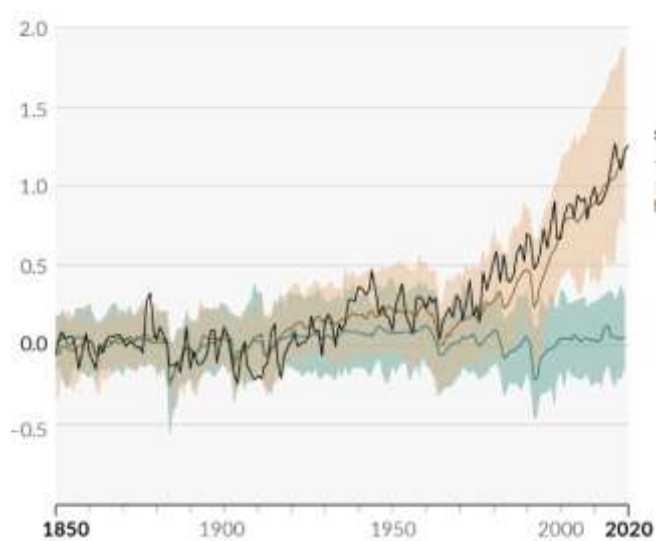
0	0	22/08
0	0	23/08
0	0	24/08
0	0	25/08
0	0	26/08
0	0	27/08
0	0	28/08
0	0	29/08
0	0	30/08
0	0	31/08

Fonte: Própria

Interferências antropogênicas

É interessante observarmos a relação do ser humano com as mudanças climáticas, principalmente relacionadas ao aumento da temperatura.

Figura 8 - Aquecimento global observado nos últimos 170 anos, considerando causas naturais e humanas e simulação considerando apenas causas naturais.



Fonte: IPCC AR6, WG1 (2021)

Observamos na *figura 8* que desde o período pós industrialização, a quantidade de GEE concentrados na atmosfera teve uma elevação absurda, sendo um indicativo poderoso de que as interferências antropogênicas são um dos fatores mais importantes responsáveis pelas mudanças climáticas, especialmente relacionadas ao aumento da temperatura global, causada pelo alto forçamento radioativo.

De acordo com o IPCC (1995), “O ozônio é um importante gás de efeito estufa presente tanto na estratosfera quanto na troposfera. As mudanças no ozônio provocam forçamento radiativo[...]”. Isso nos mostra que o alto forçamento radioativo tem um impacto muito poderoso no clima terrestre.

Resultados e Discussões

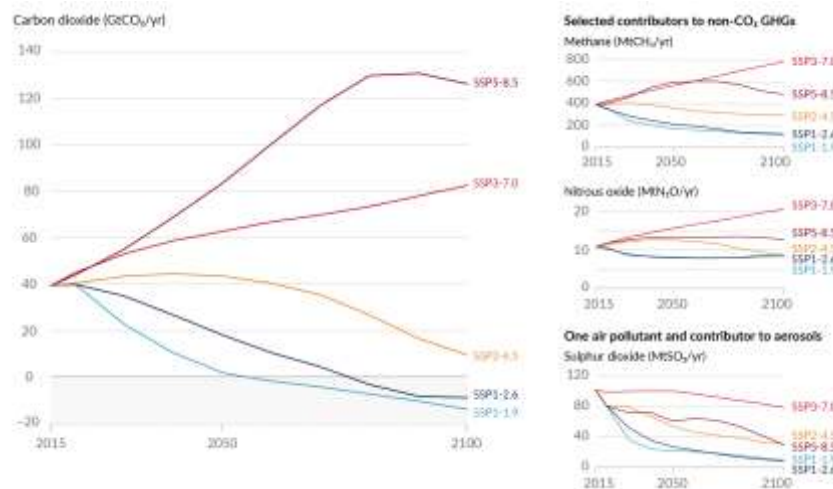
Com o experimento investigativo, podemos observar o comportamento da chuva no mês de agosto (ver *figura 7*). Entendemos que agosto não é um mês que chove muito, se pesquisarmos os anos anteriores, percebemos haver um padrão nessa época do ano, então se eu tivesse uma fazenda, com certeza me prepararia para o mês de agosto.

Além disso, o resultado de *Bio 13* (ver *figura 5*), por exemplo, pode ser calculado como a média do mês mais úmido, já que é inverno. Então para descobrirmos a média do mês, podemos somar todos os dias que choveram e dividir pela quantidade de dias no mês (ver *figura 7*). Desconsideraremos o dia 31/07, pois não pertence ao mês de agosto. $150 + 61,2 = 211,2$, agora dividiremos pela quantidade de dias no mês, mesmo aqueles dias que não choveram. $211,2 \div 31 \approx 6,8$ mm por dia.

Claro, esse resultado não reflete com precisão a realidade, pois, um pluviômetro caseiro não tem a capacidade de cobrir uma área larga, e a sua precisão pode ser facilmente reduzida pela interferência de árvores e casas.

As emissões dos GEEs são, definitivamente, uma preocupação para os pesquisadores do IPCC. Em especial, o dióxido de carbono (CO₂), sendo o gás mais emitido pelas ações antropogênicas. Apesar de existirem os sumidouros de carbono -oceanos, florestas e solos- que absorvem e capturam o CO₂ na atmosfera, não são suficientes para parar o aquecimento global causado pelas altas concentrações de CO₂ (IBERDROLA, s.d.)

Figura 9 - Concentração atual e futura dos GEEs; comparação entre os SSPs.

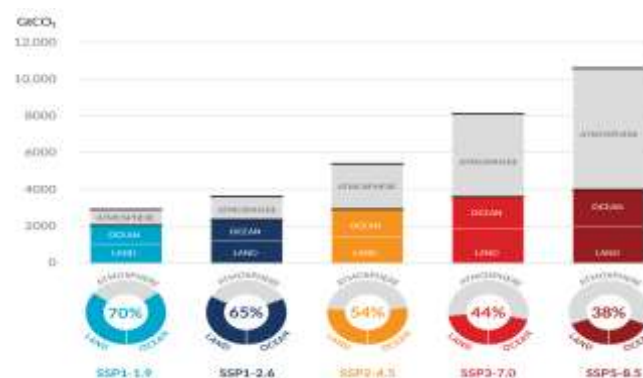


Fonte: IPCC AR6 WG1 (2021)

Analisando o gráfico da concentração do dióxido de carbono (CO₂), observamos que o pior cenário é o SSP5-8.5, onde aproximadamente a partir do ano de 2030, as emissões de CO₂ são extremamente elevadas. Chegando a ultrapassar 120 gigatoneladas por ano (GtCO₂/yr). No SSP1-1.9, ao contrário do SSP5-8.5, a quantidade da concentração de CO₂ no ano de 2100 chega a um valor negativo. Isso significa que a humanidade fez um ótimo trabalho no processo de mitigação da elevada quantidade de CO₂ emitido.

No entanto, atualmente o SSP1-1.9 é visto como algo inviável pelos tomadores de decisões e pela população. Para esse cenário acontecer, muitas empresas e grandes organizações precisariam cessar a emissão de CO₂, e isso é a mesma coisa que parar de lucrar, o que nenhuma empresa ou grande organização quer.

Figura 10 – Quantidade de CO₂ acumulada em cada SSP e quantidade absorvida pelos sumidouros.



Fonte: IPCC, AR6 WG1 (2021)

Este gráfico representa a quantidade de CO₂ acumulado na atmosfera em cada cenário, e a atuação dos sumidouros –oceano e solo- na absorção do mesmo. Faremos uma breve análise sobre cada cenário.

- **SSP1-1.9:** Neste cenário, observamos a baixa quantidade de CO₂ acumulado, também podemos ver que os sumidouros absorvem 70% dele, enquanto apenas 30% permanecem na atmosfera.
- **SSP1-2.6:** Permanece parecido com o SSP1-1.9, com apenas uma diminuição de 5% na absorção do CO₂ pelos sumidouros.
- **SSP2-4.5:** Já podemos notar uma diferença moderada na comparação entre o CO₂ na atmosfera e o CO₂ absorvido pelos sumidouros. 54% do CO₂ é absorvido pelos sumidouros.
- **SSP3-7.0:** Neste cenário, a situação é pior do que nos três cenários anteriores. Observe que a quantidade de CO₂ na atmosfera ultrapassa a quantidade absorvida pelos sumidouros. Com apenas 44% sendo absorvido pelos sumidouros.
- **SSP5-8.5:** Representando o cenário em que estamos vivenciando, a quantidade de CO₂ emitida ultrapassa as 10.000 Gigatoneladas. Podemos observar que a quantidade de CO₂ absorvido pelos sumidouros foram apenas 6% menor que o SSP3-7.0, enquanto a quantidade de CO₂ emitida foi aproximadamente 25% maior que a do SSP3-7.0.

Através dessa análise, pudemos observar o desequilíbrio que ocorre entre a quantidade de CO₂ emitido, e a quantidade absorvida pelos sumidouros no cenário SSP5-8.5. Quando pensamos em projeções de emissões futuras, não é apenas o que será produzido, mas também é somado o que já produziu e o que está sendo absorvido (GEO COSTEIRA, 2021).

Além disso, os sumidouros tem um processo de absorção mais lento, isso implica na quantidade que os sumidouros podem de fato absorver sem que o sistema seja prejudicado. Quando temos um cenário onde as emissões de CO₂ são incrivelmente altas, os sumidouros não tem a capacidade absorver, então o desequilíbrio natural ocorre, e o mecanismo terrestre responde com as variações climáticas.

De acordo com pesquisas feitas relacionadas com as políticas ambientais do município de Guarulhos, pode-se entender quais são as prioridades da cidade em relação aos problemas ambientais. A cidade implementa o Projeto Municípios Paulistas Resilientes e recentemente

desenvolveu entre 2021 e 2022, o Plano de Adaptação e Resiliência às Mudanças Climáticas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, bem como ser mais resilientes a esses efeitos e mudanças.

Guarulhos tem enfrentado problemas relacionados a escassez de recurso hídrico, ou seja, a falta de água. Além da qualidade dela. Com a urbanização e posse irregular de terras, as áreas de mananciais são ameaçadas, o que leva ao comprometimento do abastecimento d'água. O plano estipula metas para garantir o abastecimento e tratamento de esgoto em toda cidade. O plano e as metas principais são:

1. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB):** Este plano foi implementado com a intenção de melhorar a qualidade de vida da população, reduzindo o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de lixo, acesso limitado à água, tratamento de esgoto e planejamentos contra enchentes. As metas principais são:
 - **Abastecimento de água:** Visa elevar a captação e o acesso à água potável, e propõe a construção de reservatórios em áreas estratégicas da cidade.
 - **Coleta e tratamento de esgoto:** O PMSB pretende eliminar o despejo de esgoto em reservatório natural, como rios, lagoas e córregos. Também pretende expandir a coleta de esgoto para todas as áreas de Guarulhos, garantindo o tratamento adequado.
 - **Gestão de lixos:** O objetivo é reduzir o volume de lixo destinado aos aterros sanitários, ajustando a coleta seletiva de lixo, incentivando a reciclagem e combatendo o descarte incorreto de lixo.
 - **Drenagem urbana:** O Plano também aborda a implementação de sistemas de drenagem para evitar enchentes e alagamentos.

(Plano de Adaptação e Resiliência às Mudanças Climáticas, 2022)

Considerações Finais

Através desse estudo, pode-se dizer que o objetivo de analisar as causas das mudanças climáticas e a maneira como elas afetam a sociedade foi concluído.

As mudanças climáticas são inevitavelmente responsabilidades humana. Apesar disso, há debates sobre a natureza do aquecimento global, onde cientistas argumentam que a causa disso seria natural. Recentemente, o professor Paulo Artaxo, em um encontro com líderes políticos no Brasil, apresentou a informação de que os países tropicais, como o Brasil, serão os mais afetados pelas mudanças climáticas. E a sua principal proposta é a eliminação total do desmatamento, tanto legal, quanto ilegal.

O professor explica que o desmatamento é responsável por 48% das emissões de GEE (gases do efeito estufa) no país. Além disso, Artaxo sugere a transição energética, onde o petróleo é substituído por fontes de energia mais sustentáveis. Portanto, conclui que é essencial continuar a nossa pesquisa, buscando entender as mudanças climáticas com mais precisão e procurando conscientizar as pessoas de que as mudanças climáticas é algo sério e merece atenção.

Por fim, desenvolver políticas efetivas que ajudem a mitigar os impactos das variações climáticas é algo fundamental, entretanto, o maior problema será convencer as grandes empresas a pararem de lucrar.

Referências Bibliográficas

AMBRIZZI, Tércio; ARAÚJO, Moacyr. Base científica das mudanças climáticas. V.1. Brasil: PBMC, 2012.

ANGELO, Claudio; MARENGO, José. IPCC AR6, WG1: Resumo comentado. Observatório do Clima, 1 ed., ago. 2021.

ARRHENIUS, Svante. The Worlds in the Making. London: Harper & Brothers, 1908. Disponível em: <https://archive.org/details/worldsinmakinge01arrhgoog/page/n60/mode/1up>. Acesso em: 11 jun. 2024.

BOLIN, Bert; HOUGHTON, John; FILHO, Luiz. Mudanças do clima 1995: A ciência da mudança do clima. 1 ed. Brasília: PNUD, nov. 2000.

BRASIL ESCOLA. Cálculo do volume de chuvas. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/calculo-volume-chuvas.htm>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CANAL RURAL. Frente fria e chuva de mais de 150 mm nesta semana; veja previsão do tempo. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/tempo/frente-fria-e-chuva-de-mais-de-150-mm-nesta-semana-veja-previsao-do-tempo/>. Acesso em: 23 set. 2024.

DELMOTTE, Valérie; ZHAI, Panmao; PORTNER, Hans; ROBERTS, Debra; SKEA, Jim; SHUKLA, Priyadarshi; PIRANI, Anna; OKIA, Wilfran; PÉAN, Clotilde; PIDCOCK, Roz; CONNORS, Sarah; MATTHEWS, Robin; CHEN, Yang; ZHOU, Xiao; GOMIS, Melissa; LONNOY, Elisabeth; MAYCOCK, Tom; TIGNOR, Melinda; WATERFIELD, Tim. Aquecimento Global de 1,5°C. Brasil: MCTIC, 2019.

DUARTE, Solange; ALEGRETTI, Cezar; BARRETO, Clayton; MORENO, Juliana; LOZANO, Jussara. Plano de Adaptação e Resiliência à Mudança do clima de Guarulhos. 1 ed. Guarulhos: GIZ, 2012.

G1. Por que medimos as chuvas em milímetros e não em mililitros? Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/12/09/por-que-medimos-as-chuvas-em-milimetros-e-nao-em-mililitros.ghml>. Acesso em: 27 set. 2024.

GEO COSTEIRA. Estudo Dirigido IPCC AR6 WGI 2021, Parte II, Possíveis Futuros Climáticos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=uWAVlzBJeZg>. Acesso em: 29 set. 2024.

GIZ MODO. Cientistas já têm data para o derretimento de todo gelo da Antártida. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/cientistas-ja-tem-data-para-o-derretimento-de-todo-gelo-da-antartida/amp/>. Acesso em: 23 set. 2024.

HIDALGO, Luco; NUNES. Mudanças Climáticas: Impactos Físicos e Socioeconômicos. Desafios do clima. Plenarium, v.5, n.5, p.166-82, out., 2008.

IHU UNISINOS. Os fatos e a ciência da mudança climática. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/621965-os-fatos-e-a-ciencia-da-mudanca-climatica>. Acesso em: 11 ago. 2024.

JORNAL USP. Caiu a ficha: professor da USP apresenta a crise climática aos chefes dos três poderes. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/caiu-a-ficha-professor-da-usp-apresenta-a-crise-climatica-aos-chefes-dos-tres-poderes/>. Acesso em: 21 set. 2024.

LIMA, José; SANTOS, Emanuela; LUCENA, Reinaldo. Mudanças Climáticas e Impactos nas Populações Humanas: uma revisão. Campo do Saber, Brasil, v.10 n.1, p. 68-98, jan./jun. 2024.

MATTIUZZO, Beatriz. Oceanos cobrem 71% do globo, mas só conhecemos 5% deles. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/beatriz-mattiuzzo/2024/03/06/ocenoscobrem-71-do-globo-mas-so-conhecemos-5-deles.htm#:~:text=O%20oceano%20ocupa%2071%25%20da,explorado%20e%20mapeado%20pelo%20homem>. Acesso em: 05 ago. 2024.

METEORED TEMPO. Pesquisa na Natureza revela que ondas do oceano podem ultrapassar os limites conhecidos em altura. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/investigacao-da-nature-revela-que-ondas-do-oceano-podem-ultrapassar-os-limites-conhecidos-em-altura.html>. Acesso em: 23 set. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mudança do clima intensificou em 40% incêndios no Pantanal em junho, mostra estudo. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/mudanca-do-clima-intensificou-em-40-incendios-no-pantanal-em-junho-mostra-estudo>. Acesso em: 28 ago. 2024.

OLHAR DIGITAL. O que conhecemos mais: o espaço ou os oceanos? Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/07/04/ciencia-e-espaco/o-que-conhecemos-mais-o-espaco-ou-os-oceanos/#:~:text=At%C3%A9%20hoje%2C%20s%C3%B3%20conhecemos%205,os%20conhe%C3%A7amos%20e%20os%20admiremos>. Acesso em: 05 ago. 2024.

SANTOS, Filipe. A Física das Alterações Climáticas. Gazeta de Física, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 48-58, jan. 2007.

SPLABOR. O que é um pluviômetro? Qual a sua função?. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/equipamentos-para-laboratorio/o-que-e-um-pluviometro-qual-a-sua-funcao/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

TERRA como um sistema. Globe, 1 ed. 2014.

TERRA. Cientistas iniciaram uma investigação após ficarem perplexos com os sinais sísmicos captados ao redor do mundo. Disponível em: <https://www.terra.com.br/byte/ciencia/o-megatsunami-com-onda-de-200-metros-que-durou-9-dias-e-ninguem-percebeu,2fb33ae6d311addbc1f9a47d53f18627gyk2o4x4.html>. Acesso em: 23 set. 2024.

THE CONVERSATION. Guarda-sóis gigantes e embranquecimento do céu: as falsas boas ideias para combater o aquecimento global. Disponível em:

<https://theconversation.com/guarda-sois-gigantes-e-embranquecimento-do-ceu-as-falsas-boas-ideias-para-combater-o-aquecimento-global-230377>. Acesso em: 11 ago. 2024.

WRI BRASIL. 10 conclusões do relatório do IPCC sobre mudanças climáticas de 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>. Acesso em: 14 ago. 2024.