A importância do clima no desenvolvimento econômico sustentável

The importance of climate in sustainable economic development

DOI:10.34115/basrv6n1-018

Recebimento dos originais: 13/01/2022
Aceitação para publicação: 24/02/2022

Oldemar de Oliveira Carvalho Junior
Doutor em Oceanografia Física pela Flinders University of South Australia/Meteorology and Oceanography
Instituição: Ekko Brasil
Endereço: Servidão Euclides João Alves, S/N - Lagoa do Peri, Florianópolis – SC Brasil
E-mail: ocjunior@ekkobrasil.org.br

RESUMO
Este trabalho busca demonstrar a importância do clima no desenvolvimento sustentável de uma região hidrográfica (RH3) localizada no oeste do Estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Caracterização das principais variáveis climáticas associadas ao desenvolvimento econômico e às mudanças climáticas na área de estudo representam os principais objetivos da pesquisa. Ao todo, nove parâmetros climáticos são analisados: radiação solar, temperatura, umidade, precipitação, evapotranspiração, vento, metano (CH4), dióxido de carbono (CO2), e óxido nitroso (N2O). Os dados climáticos foram obtidos de diferentes plataformas oficiais governamentais e não-governamentais para um período de 1961 a 2020. Os dados climáticos são do banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Dados de emissão de gases são referentes ao intervalo de 1970 a 2019 obtidos do Observatório do Clima (SEEG). Os dados de radiação solar foram obtidos do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Todos os dados foram organizados em planilhas para análise estatística, temporal e espacial. Dados mensais da temperatura, umidade, precipitação, e evapotranspiração acompanharam o movimento do sol, fortemente associados à radiação solar. A análise interanual da temperatura mostrou uma tendência de aumento de 1,14 oC para um período de 59 anos. O CH4 teve um aumento de 40%, de 57,4 mil toneladas em 2008 para 80,4 mil toneladas em 2018. O CO2 se manteve estável para o mesmo período com emissão de 2,5 milhões de toneladas em 2018. Em 2008 o N2O foi 2.540 toneladas, e 2.670 toneladas em 2018, ou praticamente estável no período de 10 anos. Os três gases apresentaram correlação positiva com as atividades agropecuárias. A economia dos municípios presentes na área de estudo é baseada na agroindústria e na agropecuária, em especial a criação de suínos, bovinos e aves, além de plantações de milho e soja em minifúndios. Os resultados mostram a necessidade urgente de implantação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de projetos com benefícios sociais e econômicos, associados à recuperação de áreas degradadas e à diminuição da emissão de gases responsáveis pelo agravamento do efeito estufa.

Palavras-chave: aquecimento global, mudança climática, economia verde.

ABSTRACT
This work seeks to demonstrate the importance of climate in the sustainable development of a hydrographic region (RH3) located in the west of the Santa Catarina State, southern Brazil. Characterization of the main climatic variables associated with economic development and climate change in the study area represents the main research objectives. Altogether nine climate parameters are analyzed: solar radiation, temperature, humidity, precipitation, evapotranspiration, wind, methane, carbon dioxide, and nitrous oxide. The climatic data were obtained from different official governmental and non-governmental platforms for a period from 1961 to 2020. The climatic data are from the Santa Catarina Environmental Variables Database of the Agricultural Research and Rural Extension Company of Santa Catarina (EPAGRI). Gas emission data refer to the range from 1970 to 2019 obtained from the Climate Observatory. The solar radiation data were obtained from the Laboratory for Modeling and Studies of Renewable Energy Resources (LABREN) of the National Institute for Space Research (INPE). All data were organized in spreadsheets for statistical, temporal, and spatial analysis. Monthly data on temperature, humidity, precipitation, evapotranspiration followed the sun's movement, strongly associated with solar radiation. The inter-annual temperature analysis showed an increasing trend of 1.14 oC for 59 years. CH4 had an increase of 40%, from 57,400 tons in 2008 to 80,4 thousand tons in 2018. CO2 remained stable for the same period, with an emission of 2,5 million tons in 2018. N2O in 2008 was 2,540 tons, and 2,670 tons in 2018, or virtually stable over the 10 years. The three gases showed a positive correlation with agriculture. The economy of the municipalities present in the study area is based on agribusiness and agriculture, in particular the raising of pigs, cattle, and poultry, in addition to corn and soybean plantations in smallholdings. The results show the urgent need to implement public policies aimed at the development of projects with social and economic benefits, associated with the recovery of degraded areas and the reduction of the emission of gases responsible for the aggravation of the greenhouse effect.

Keywords: global warming, climate change, green economy.

1 INTRODUÇÃO

O papel do clima é normalmente abordado de forma burocrática e ilustrativa, como simples forma de caracterização geográfica. Esta pesquisa objetiva demonstrar que o clima tem um papel que vai além da simples caracterização da área, com potencial importância no planejamento econômico e socioambiental, além de possibilitar a captação de recursos para o desenvolvimento de projetos sustentáveis.

O presente trabalho trata da questão climática na região oeste do estado de Santa Catarina denominada Região Hidrográfica 3 (RH3) que inclui 38 municípios com uma área total de cerca de 8.541 km^2. Os principais setores econômicos da RH3 na participação do PIB em 2018 são os serviços (38,5%), indústria (28,7%) e agropecuária (9,6%). Dos 38 municípios, 4 detêm 54% do PIB (Concórdia, Caçador, Videira, Joaçaba) (IBGE, 2021; IBGE SCR, 2021). Os vínculos trabalhistas aumentaram em 16% de 2010

a 2018, associados ao setor de serviços, administração pública, indústria e agricultura (IBGE, 2021; IBGE SCR, 2021).

Cabe destacar o papel da agropecuária na geração de empregos com 23 mil estabelecimentos na área de estudo. Entretanto, com o PIB e taxas de emprego dando sinais de declínios, a questão da diversificação tem assumido destaque no planejamento regional da economia. Alerta desencadeados pelo (COVID-19) (Hepburn et al., 2020) e IPCC (IPCC, 2021) estão servindo de alerta para a necessidade de definição de novos rumos no planejamento econômico e ambiental. O desenvolvimento de uma política pública para recuperação econômica e ambiental é visto como de fundamental importância estratégica (Hepburn et al., 2020).

Benefícios econômicos e ambientais climáticos, com geração de empregos, podem ser auferidos por projetos verdes com foco no transporte, indústria, eletricidade, combustível, e tecnologias de baixo carbono (IEA, 2020). Cabe ressaltar que o Brasil é signatário do Acordo de Paris para a definição de objetivos para emissão zero até 2050, com metas de redução de 37% até 2025 e 43% até 2030 (Climate Watch, 2020). Nesse particular, um planejamento estratégico de recuperação econômica com foco nas mudanças climáticas pode gerar 2 milhões de empregos até 2030 com ampliação de 2,8 trilhões de reais no PIB (Pinheiro et al., 2020). Projetos potenciais para atração de investimentos privados e internacionais podem estar relacionados com infraestrutura de qualidade, transporte por ônibus elétrico, inovação industrial, e agricultura sustentável (Wijaya et al., 2021).

Fica claro que a questão climática não deve ser discutida de forma isolada, mas também seguir acordos internacionais com o de Paris. A Convenção da Diversidade Biológica (CDB) representa outro importante compromisso multilateral entre os países signatários, que inclui o Brasil (MMA, 2006). A plataforma intergovernamental da CDB-IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) associa a mudança climática com a perda da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Relatório de 2020 da IPBES lista as cinco principais causas da perda da biodiversidade, entre elas a mudança no uso da terra para expansão da agricultura como principal fator (IPBES, 2018). Portanto, a discussão da mudança climática e biodiversidade pode estar relacionada com mudanças dos sistemas alimentares e sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Ao todo 10 parâmetros climáticos são analisados: radiação solar, temperatura, umidade, precipitação, evapotranspiração, balanço hídrico, vento, metano, dióxido de

carbono, e óxido nitroso. Os dados climáticos foram obtidos para um período de 1961 a 2020 (Embrapa, 2012). Os dados de emissão de gases são referentes ao intervalo de 1970 a 2019 (Albuquerque et al., 2020). Dados de radiação solar foram obtidos de Pereira et al. (2017).

2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO

A radiação solar é a principal fonte de energia para a RH3 e é também o principal elemento climático. A energia da radiação solar desencadeia os processos de produção da fotossíntese, evaporação e evapotranspiração, influenciando diretamente no ciclo hidrológico, na distribuição de água e na temperatura da região. Dessa forma, a radiação solar impacta diretamente na agricultura através do processo de fotossíntese e, consequentemente, na produção de alimento. A exposição da RH3 à radiação solar, com as formações vegetais, é o principal fator para a definição da temperatura e umidade. Igualmente importante na definição do clima regional, influenciando na temperatura, são a evaporação, o balanço hídrico e a evapotranspiração. Cabe ressaltar ainda que a radiação solar é determinante no planejamento da produção de energia solar fotovoltaica. A Figura 1 exibe as médias anuais da radiação solar horizontal entre os municípios da área de estudo.

Coordenação de Informações Ambientais e Geoprocessamento da SEMA/SDE agosto/2021

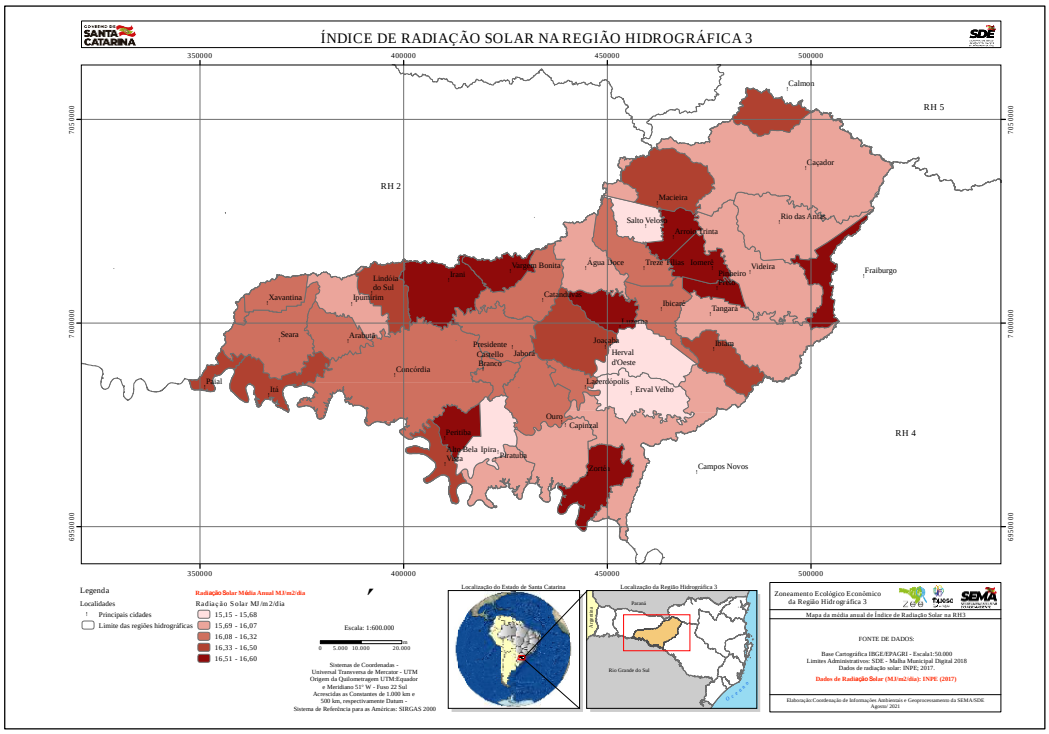
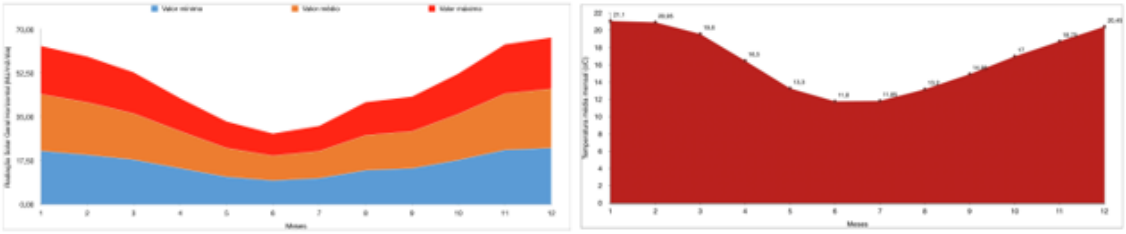


Figura 1. Dados médios de radiação solar horizontal em MJ/m^2/dia ao longo dos meses do ano na RH3. Fonte dos dados: Pereira et al., INPE (2017). Mapa elaborado pela

A Figura 2 apresenta os dados médios mensais da radiação solar em MJ.m^{-2}.dia^{-1} (esquerda) e distribuição da temperatura média mensal (direita) entre os municípios da RH3, ao longo dos meses do ano na área de estudo. A distribuição mensal da radiação solar sofre pouca variação entre os municípios da RH3, com média de 16,25 e mínima de 15,43 MJ.m^{-2}.dia^{-1} em Caçador, e máxima de 16,60 MJ.m^{-2}.dia^{-1} em Arvoredo. Máxima radiação solar média é observada em dezembro com 22,62 MJ.m^{-2}.dia^{-1}, que também exibe o valor máximo de 23,70 MJ.m^{-2}.dia^{-1}. A menor média, de 9,52 MJ.m^{-2}.dia^{-1}, é exibida no mês de junho que também apresenta o mínimo de 8,91 MJ.m^{-2}.dia^{-1}. As temperaturas máximas de 21,10 ^{o}C e 20,45 ^{o}C são observadas em janeiro e dezembro, respectivamente, seguindo o caminho da radiação solar.

Figura 2. Dados médios mensais de radiação solar horizontal em MJ.m^{-2}.dia^{-1} (direita) (Fonte: INPE, 2017) e temperatura média mensal (^{o}C) (direita) entre os municípios da RH3 com valores médios de 30 anos (1976 a 2005) (Fonte: Wrege et al., 2012)

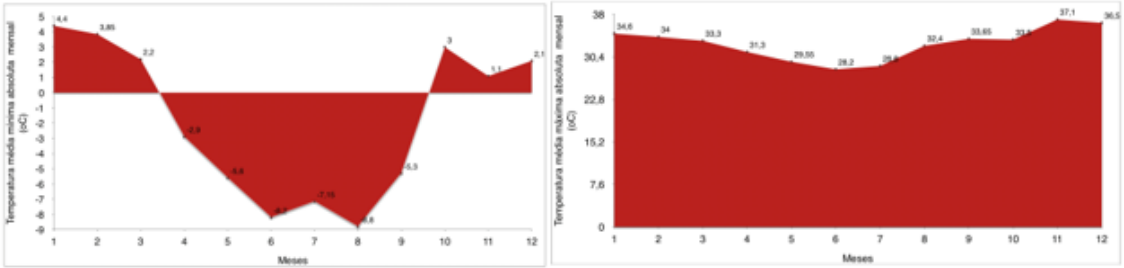


A temperatura do ar é de fundamental importância para o clima da região. A temperatura influencia a evaporação, a transpiração e o desenvolvimento das plantas e animais. Na atmosfera a temperatura está sujeita às variações irregulares causadas pelos ventos, chuvas, e outros fenômenos meteorológicos. As variações regulares são diárias e anuais, influenciadas pela altitude da região, chegando a cerca de 1.400 metros, e pela distância do oceano, de cerca de 300 km da RH3.

O número-de-horas-de-frio também é importante, pois afeta várias espécies animais e vegetais, em especial as plantas perenes de folhas caducas que exigem mais horas de frio para se desenvolver. A produtividade e a qualidade dos frutos também são influenciadas pelas condições térmicas durante a fase de dormência. A temperatura de 7 ^{o}C é uma referência para a medida de horas de frio. Temperaturas fora da faixa de 0 a 7 ^{o}C pode causar impactos negativos ou positivos em várias espécies. Na fruticultura, por exemplo, é importante saber qual o número de horas de frio abaixo de 7,2 ^{o}C (Back, 2020).

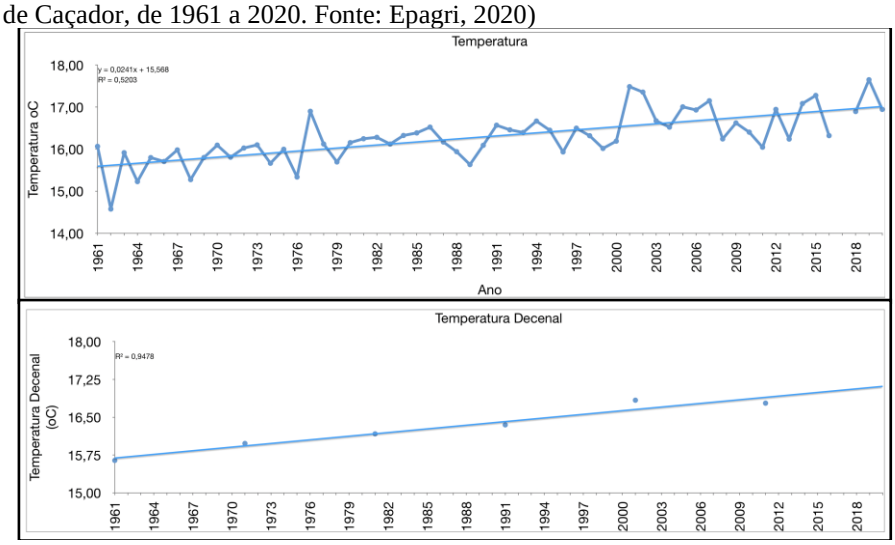
A temperatura média anual da RH3 é 16,65 ºC. Importante observar que a temperatura média mínima anual é 11,55 ºC e a temperatura média máxima anual 23,25 ºC, uma diferença de 11,70 ºC. São 506 horas de frio anual, abaixo de 7,2 ºC, o que representa 21 dias ao longo do ano, ou 4,17% do total de dias do ano. A Figura 3 apresenta as temperaturas mínimas (esquerda) e máximas absolutas (direita) ao longo dos meses para os municípios da RH3. Cabe salientar a importância da presença de temperaturas negativas nos meses de inverno. Esses valores negativos demonstram a necessidade de desenvolvimento de cultivares com tolerância a geadas, bem como a possibilidade de cultivo de espécies de clima temperado. Por outro lado, existem temperaturas maiores que 34 ºC no verão. Tais temperaturas podem, por exemplo, impactar no desenvolvimento de plantas com problemas de abortamento de flores causado pelo excesso de calor. Cabe destacar ainda o aspecto econômico que as baixas temperaturas contribuem para o turismo rural, além das temperaturas amenas durante a primavera e verão, propícias para o lazer, cultura e atividades ao ar livre.

Figura 3. Distribuição das temperaturas mínimas absolutas (ºC) (esquerda) e das temperaturas médias máximas absolutas (direita) para os municípios da RH3. Valores médios de 30 anos (1976 a 2005). Fonte: Wrege et al. (2012)



Entre os municípios da RH3, Caçador é o que exibe a maior série temporal de dados, remontando ao ano de 1961. A variação da temperatura de 1961 a 2020 apresenta média anual de 16,29 ºC. Entretanto, o que mais chama a atenção é o aumento da temperatura decenal de 1,14 ºC no período (Figura 4). Este valor está próximo dos dados apresentados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021), que demonstram que de 1850 – 1900 a 2006 – 2015, a temperatura média do ar na superfície terrestre aumentou 1,53 °C.

Figura 4. Distribuição das temperaturas médias anuais (superior) e decenais (inferior) na RH3, para o município de Caçador, de 1961 a 2020. Fonte: Epagri, 2020)



Como pode ser observado na Figura 4 a evolução das temperaturas médias anuais e decenais ao longo de 59 anos demonstra uma tendência de alta. Três picos de máximas anuais são registrados em 1987 (16,9 ºC), 2001 (17,48 ºC) e a mais alta registrada em 2019 (17,65 ºC). Três mínimas principais também podem ser apontados para 1962 (14,58 ºC), 1976 (15,34 ºC) e 2016 (16,32 ºC). Importante ressaltar que as mínimas estão relacionadas com a evolução das máximas, ou seja, as mínimas perdem força ao longo dos anos.

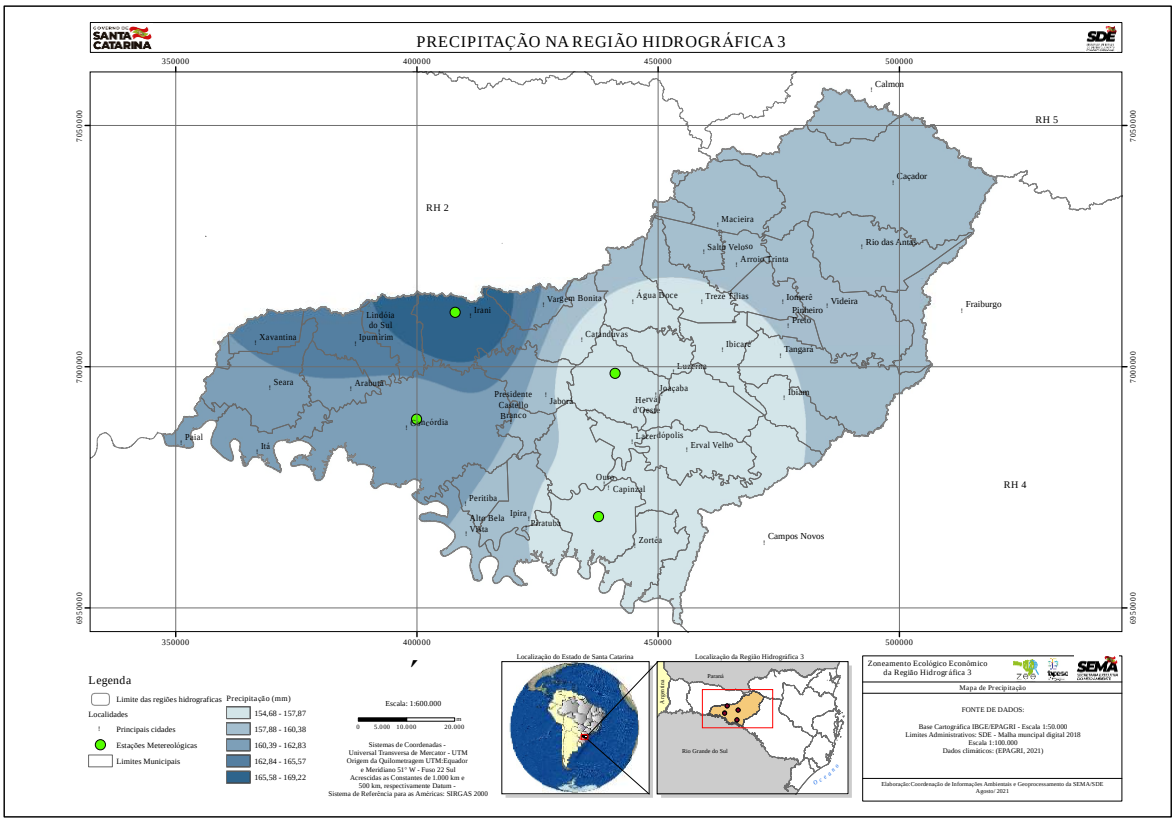
A chuva, impacta diretamente nos processos hidrológicos, em especial nas duas principais bacias da RH3, a do Rio Jacutinga e a do Rio do Peixe. Como a precipitação possui grande variação, é importante saber o alcance espacial e temporal. As secas prolongadas, por exemplo, são causadoras de perdas econômicas na agricultura e no abastecimento de água para as cidades. O excesso pode causar alagamentos e erosão dos solos.

As chuvas possuem também potencial gravitacional e químico. Exemplo disso é a erosão, o principal fator responsável pela degradação do solo e pela remoção de nutrientes. A chuva de potencial gravitacional está relacionada com o impacto da água no solo, seguido do escoamento superficial, que depende da infiltração, declividade, e cobertura do solo.

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial da precipitação entre os municípios da RH3. Os valores mais altos de precipitação são registrados na porção oeste da Regional, com destaque para os municípios de Irani com um total anual de 2.031 mm. Por outro lado, é possível observar uma zona central com precipitações menores. Apesar

disso, as chuvas são bem distribuídas nos municípios, como Concórdia com 1.937 mm e Joaçaba com 1.855 mm.

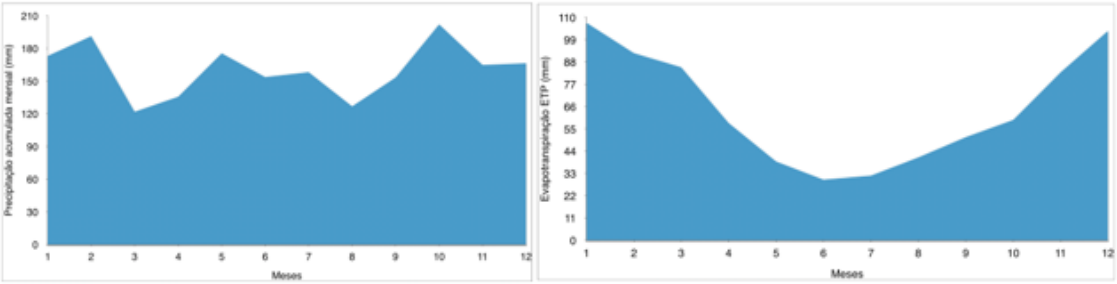
Figura 5. Distribuição espacial da precipitação média anual (mm) entre os municípios da RH3. Valores médios de 30 anos (1976 a 2005)



Fonte: Wrege et al. (2012). Mapa elaborado pela Coordenação de Informações Ambientais e Geoprocessamento da SEMA/SDE agosto/2021

A Figura 6 exibe os dados médios mensais de chuva (esquerda) e a evapotranspiração média mensal (direita) ao longo do ano na RH3. A precipitação média acumulada mensal apresenta significativa variação ao longo dos meses do ano na RH3. O mês mais crítico é março com 122,07 mm, seguido por agosto com 127,05 mm. Duas máximas são observadas em fevereiro e outubro, de 191,52 mm e 202,375 mm, respectivamente.

Figura 6. Distribuição da precipitação média mensal (mm) (esquerda) e dados médios de ETP (direita) na RH3 ao longo dos meses do ano. Valores médios de 30 anos (1976 a 2005)



Fonte: Wrege et al. (2012)

Por ano chove em média o total de 1.926 mm, sendo a média mensal 160,47 mm. Três picos podem ser observados, fevereiro com 210,90 mm, maio com 175,77 mm, e outubro com 202,38 mm. Estes valores representam a principal fonte de abastecimento dos sistemas hídricos da RH3. A variabilidade temporal da precipitação observada na Figura 10 influencia na disponibilidade hídrica das principais bacias da RH3.

A evapotranspiração ao longo do ano exibe valor médio anual de 72,08 mm. Os maiores valores de ETP ocorrem nos meses mais quentes do ano, com um pico em janeiro de 122,5 mm, diminuindo no inverno, com 31 mm em junho, seguindo o caminho da radiação solar. Como era de se esperar, os maiores valores de ETP ocorrem nos meses mais quentes do ano, com um pico em janeiro de 122,5 mm, diminuindo no inverno, com 31 mm em junho, seguindo o caminho da radiação solar.

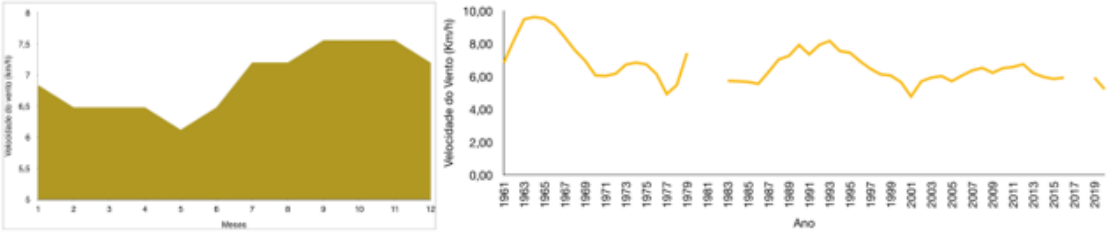
A agricultura é fortemente dependente dos processos de evaporação da água do solo e da transpiração das plantas. Esse balanço da água que entra com a chuva no sistema e que sai pela evapotranspiração define a quantidade de água que fica no solo disponível para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

No estado de Santa Catarina, a demanda hídrica é predominante na produção de animais, 121% superior à demanda humana. Na RH3, suínos e aves são criados em confinamento o que resulta em maior consumo de água. Essa é uma das razões pela qual a produção animal no oeste do Estado supera o dobro da demanda de água necessária ao consumo humano (Conceição et al., 2013). Na RH3 foram registrados 5 períodos de estiagem, relativos aos anos de 1979, 1982, 1991, 1998 e 2005 (Marchesan e Comassetto, 2019).

A Figura 7 exibe a velocidade média mensal do vento (esquerda) e a média da velocidade interanual do vento de 1961 a 2020 (direita). A velocidade média anual do

vento para um período de 59 anos é 6,36 km/h. A direção predominante do vento é de Este-Sudeste (ESE).

Figura 7. Distribuição da velocidade média mensal do vento (esquerda) e velocidade interanual (direita) na RH3



Fonte: Epagri, 2020

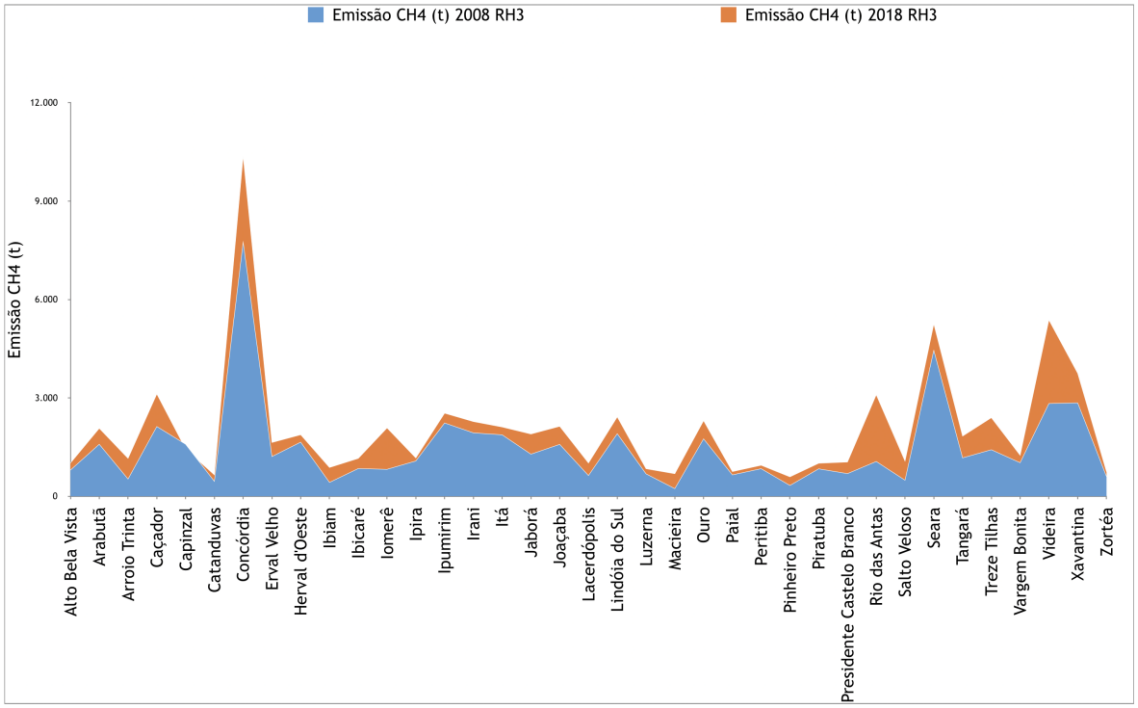
A velocidade do vento é maior de julho a dezembro, com máximas em setembro, outubro e novembro, de 7,56 km/h. A mínima é registrada em maio, de 6,12 km/h. Entretanto, vale ressaltar a ocorrência de tornados na RH3, cujas velocidades ultrapassam os 100 km/h, podendo atingir 198 km/h. Ao longo dos anos o vento apresenta variações significativas. Os maiores valores, acima de 8,0 km/h ocorreram de 1962 a 1967. Nos últimos 20 anos a velocidade do vento tem se mantido mais estável oscilando entre 5 e 7 km/h.

3 O GÁS METANO CH_4

O gás metano CH_4 é produzido pela decomposição da matéria orgânica. É abundante em aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas. É também originado pela criação de gado e cultivo de arroz. Em termos gerais, a pecuária representa 16% das emissões mundiais de gases de efeito estufa. O metano é um gás incolor e inodoro, de alta capacidade energética. É o segundo gás do efeito estufa mais significativo em potencial de agravamento do aquecimento global (Bolin e Doos, 1989).

A Figura 8 apresenta os dados de emissão de gás metano para 2008 e 2018 nos municípios da RH3. O teste-t aplicado entre as duas variáveis para um $p<0,05$ mostrou diferenças entre os dois anos. Em Santa Catarina, o total de emissão de CH_4 em 2008 foi de 57,4 mil toneladas, passando para 80,4 mil toneladas em 2018, um aumento de 40%. A média mensal de emissão em toneladas de CH_4 na RH3 em 2008 foi de 1,5 mil toneladas, aumentando para 2,1 mil toneladas em 2018, também um aumento de 40%, seguindo a tendência estadual. As maiores emissões de CH_4 em 2018 são observadas em Concórdia (10.364 t), Videira (5.375 t), Seara (5.253 t), e Água Doce (4.429 t).

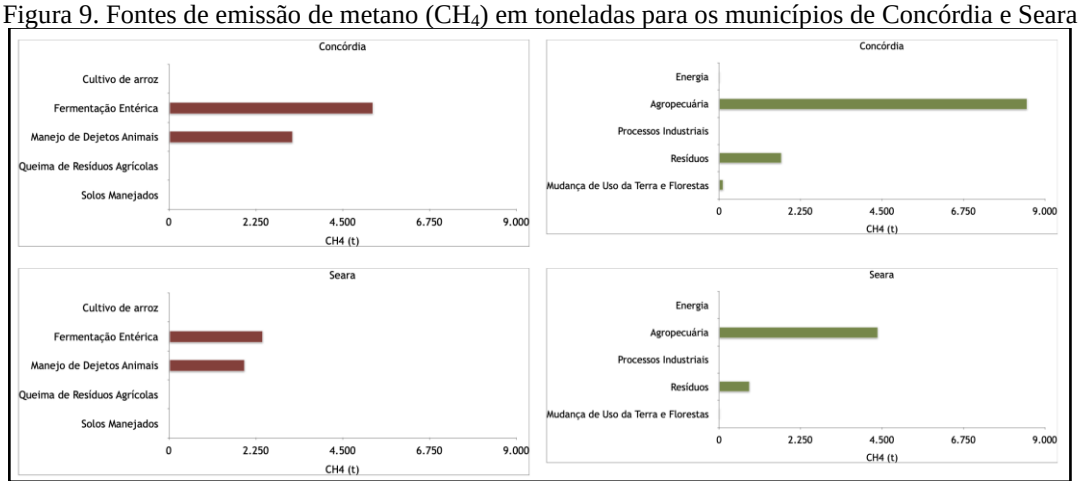
Figura 8. Distribuição do metano (CH_4) em toneladas entre os municípios da RH3



Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

Como exemplo, a Figura 9 exibe as principais fontes de emissão de metano para os municípios de Concórdia e Seara. Os demais municípios seguem o mesmo padrão. Fica claro o peso da agropecuária na emissão do CH_4, representado quase que exclusivamente pelo processo de formação entérica e pelo manejo de dejetos animais.

Figura 9. Fontes de emissão de metano (CH_4) em toneladas para os municípios de Concórdia e Seara

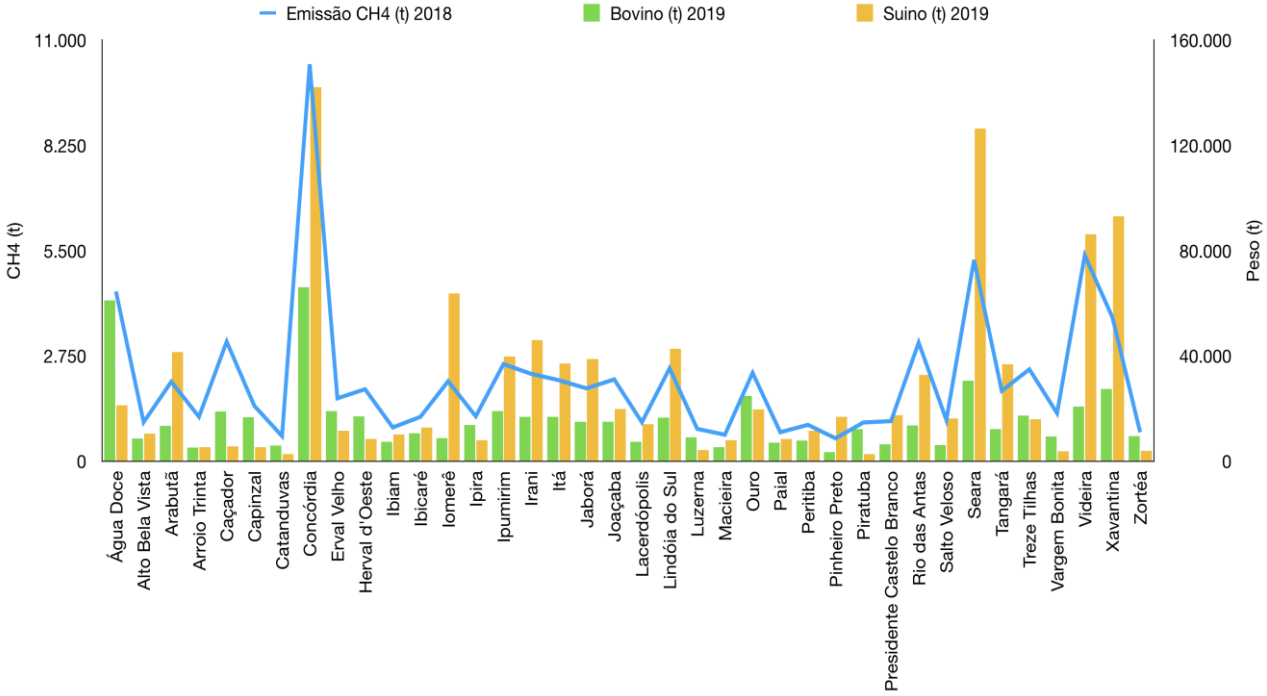


Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

Foi realizado teste de correlação entre a produção de bovino e suíno com os dados de CH_4 de 2018. A correlação obtida entre o metano e a presença de bovinos foi de 0,87 e entre o metano e suínos foi de 0,85 para todos os municípios da RH3. Essa correlação

demonstra que o CH_4 está diretamente relacionado com a produção de suínos e bovinos na região. Portanto, os principais emissores de CH_4 na RH3 são também os maiores produtores de suíno, sugerindo a estreita relação do CH_4 como o manejo de dejetos de suínos e fermentação entérica de bovinos (Figura 10).

Figura 10. Variação do CH_4 em toneladas com a produção de bovinos e suínos, em toneladas, entre os municípios da RH3

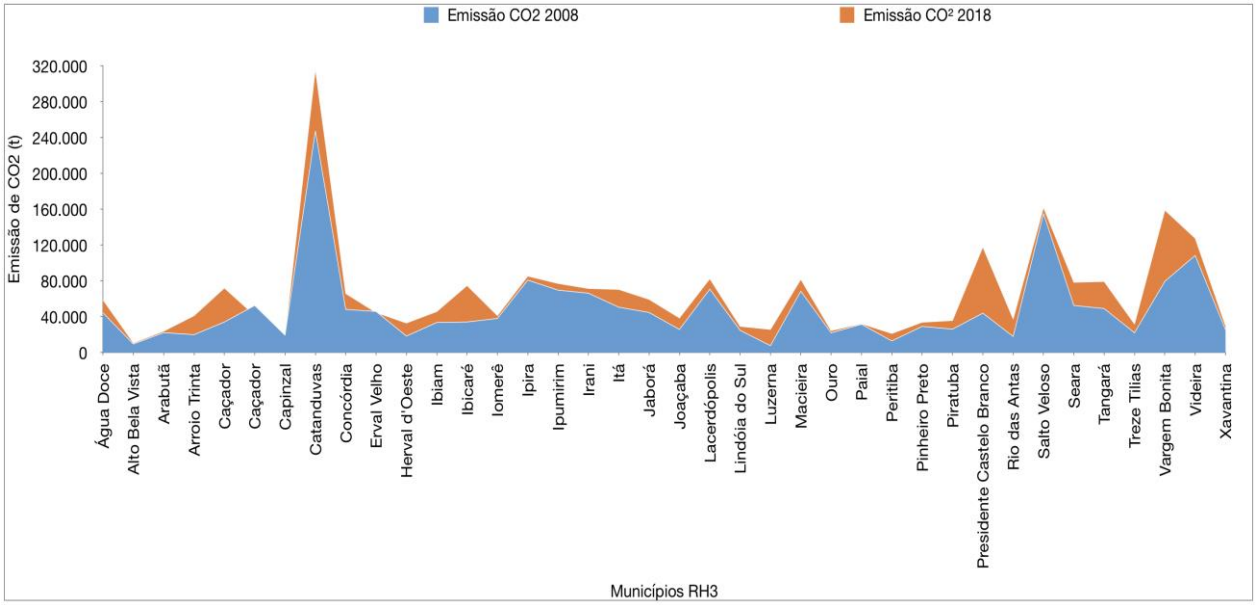


Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

4 O DIÓXIDO DE CARBONO

A Figura 11 exibe a distribuição do dióxido de carbono (CO_2) entre os municípios da RH3 para um intervalo de 10 anos, de 2008 a 2018. O teste-t aplicado entre as duas variáveis para um $p<0,05$ mostra que, ao contrário do CH_4, não há diferença de valores de CO_2 para os dois anos.

Figura 11. Distribuição do dióxido de carbono (CO_2) em toneladas entre os municípios da RH3

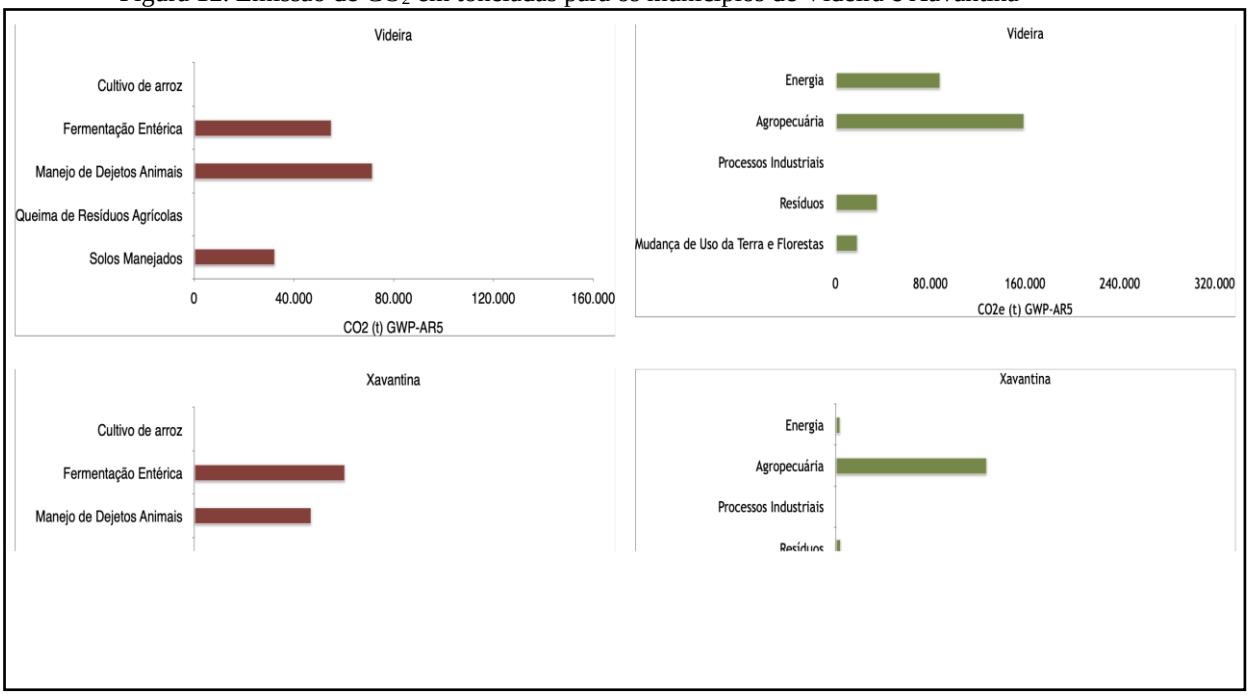


Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

No estado de Santa Catarina, a média de emissão de toneladas de CO_2 em 2008 foi 11.606.322 e em 2018 6.589.076. Uma diminuição de cerca de 5 milhões de toneladas ou 43,23%. Na RH3 o total de CO_2 em 2008 foi 1,9 milhões de toneladas e 2,5 milhões em 2018, um aumento de 638 mil toneladas ou 31,58%. Concórdia, por exemplo, seguiu essa tendência, aumentando a emissão de CO_2 em 2008 de 247 mil toneladas para 316 mil toneladas em 2018, um aumento de 22%.

O maior emissor de CO_2 em 2018 foi o município de Concórdia com 316 mil toneladas, 13% do total produzido na RH3. Concórdia é seguido por Seara e Videira, com 161.811 e 158.912 toneladas, respectivamente, equivalentes a 6% do total da RH3. Em seguida vem Xavantina com 127.487 toneladas e Rio das Antas com 117.727 toneladas, ambos contribuindo com 5% cada na emissão total de CO_2. A Figura 12 exibe as fontes de emissão de CO2 para os municípios de Videira e Xavantina. Os demais municípios seguem o mesmo padrão.

Figura 12. Emissão de CO_2 em toneladas para os municípios de Videira e Xavantina

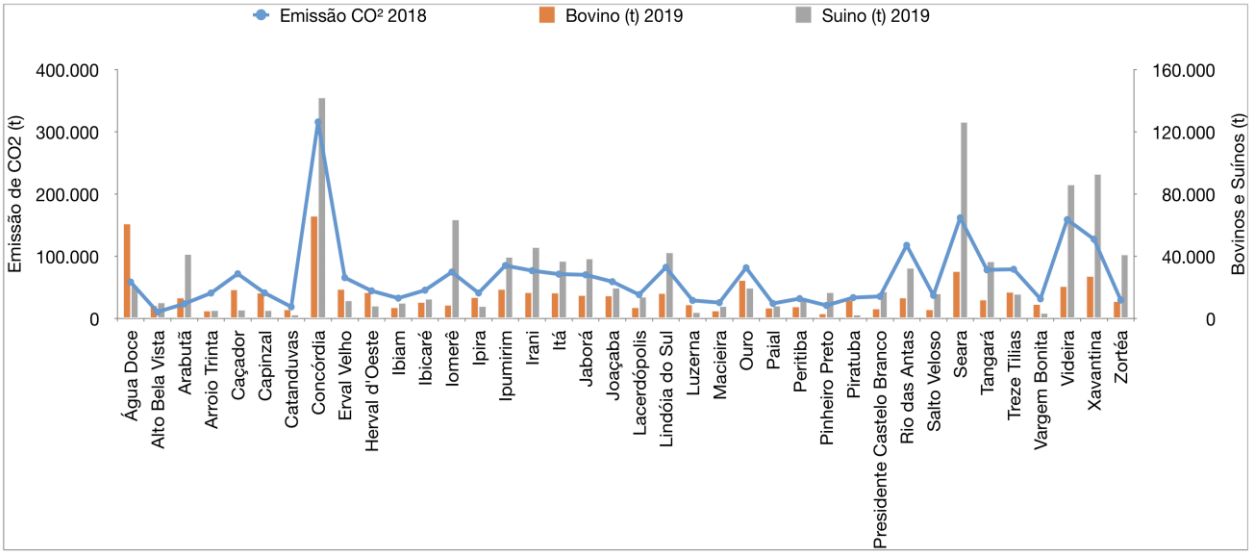


Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

A Figura 12 revela o peso da agropecuária na emissão do CO_2 na área de estudo. Em comum aos municípios com maior emissão de CO_2 na RH3, são as duas fontes principais de formação do gás, a fermentação entérica e o manejo de dejetos animais. Nesse caso, a maior parte do CO_2 produzido no rúmen é arrotado pelo animal, e outra parte menor, produzida no intestino grosso, é liberada como flatulência.

A correlação obtida entre o dióxido de carbono e a presença de bovinos foi de 0,85 e entre o dióxido de carbono e suínos foi de 0,73 para todos os municípios da RH3. Essa correlação demonstra que o CO_2 está diretamente relacionado com a produção de suínos e bovinos na região. A exemplo do metano, o aumento ou diminuição do dióxido de carbono acompanha a maior, ou menor presença de bovinos, ou suínos (Figura 13).

Figura 13. Variação do CO_2 em toneladas com a produção de bovinos e suínos, em toneladas, entre os municípios da RH3



Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

Por exemplo, a economia de Concórdia, o maior PIB da RH3 representando 17% do total, se concentra na agroindústria e na agropecuária, principalmente com a criação de suínos, bovinos e aves, além de plantações de milho e soja em minifúndios. A produção de suínos aparece em primeiro lugar com 130 mil ton/ano, seguido pelos bovinos com 78 mil ton/ano (Dartora et al., 1998). Estes números também são refletidos nos 2,8 mil estabelecimentos agropecuários de produção familiar. A pecuária e criação de outros animais ocupam uma área de 38,9 mil hectares (IBGE, 2017). O município ainda é sede de uma das maiores empresas frigoríficas do Brasil, a Sadia. Cabe ressaltar que Concórdia responde por 17% do PIB da RH3, com R$ 3,35 bilhões em 2018 (IBGE, 2017).

A exemplo de Concórdia, a RH3 na totalidade, apresentou um aumento de 638 toneladas de CO_2 de 2008 a 2018, um aumento de 34%. Além do potencial aumento de eventos climáticos extremos, o aumento dos níveis de CO_2 atmosférico pode diminuir a qualidade nutricional das safras (IPCC, 2014). Paralelo a isso, é observado uma diminuição da cobertura florestal nativa, pertencente ao Bioma Mata Atlântica. Na Bacia do Rio do Peixe, por exemplo, restam apenas 7,23% da cobertura vegetal registrada em 1978 no planalto catarinense (Vibrans et al., 2013).

5 O ÓXIDO NITROSO

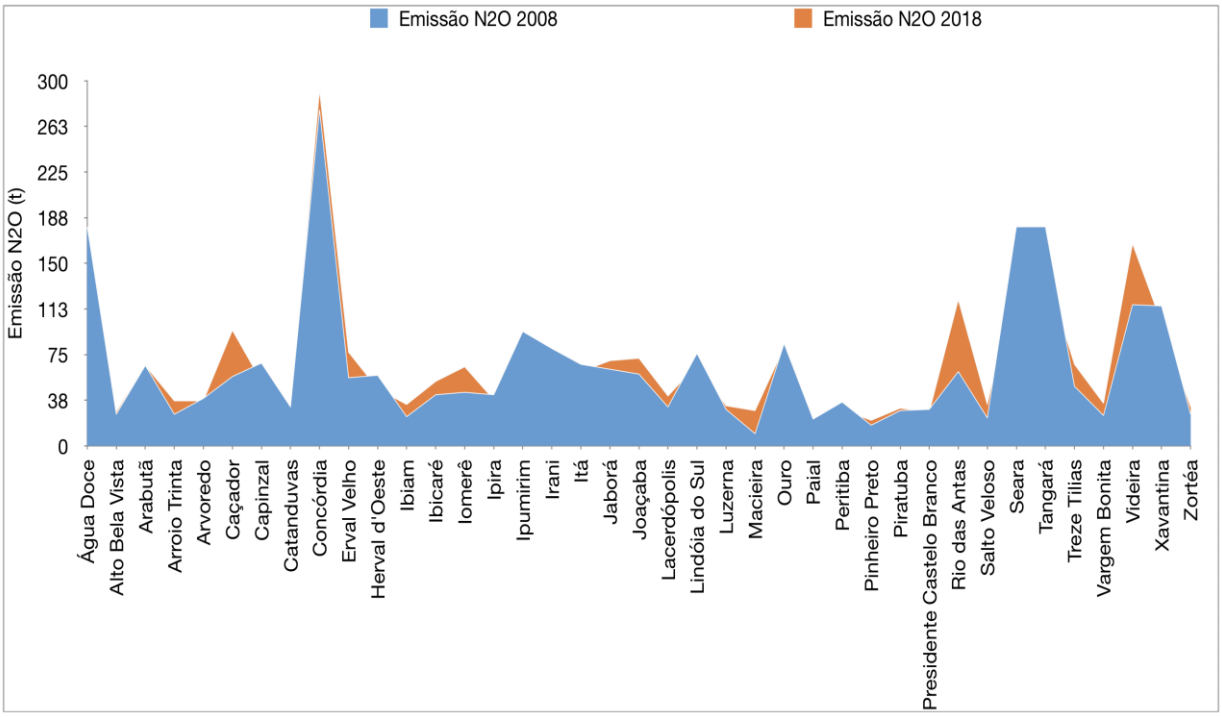
O óxido nitroso (N_2O) é um dos principais gases liberados na atmosfera que afeta a camada de ozônio e aumenta o aquecimento global. As moléculas de ozônio na

atmosfera ajudam a proteger a Terra contra o excesso da radiação ultravioleta do Sol. Além disso, contribui sobremaneira para o efeito estufa, ainda mais potente que o dióxido de carbono (CO_2) na tarefa de aprisionar o calor solar. Por exemplo, uma molécula de N_2O permanece na atmosfera por cerca de 120 anos até se degradar.

A agricultura responde por dois terços das emissões de N_2O, decorrente, por exemplo, do uso de fertilizantes. O óxido nitroso é um produto do ciclo de nitrogênio, que em sua etapa final transforma os nitratos em nitrogênio gasoso (N_2) e óxido nitroso (N_2O) por meio do processo de desnitrificação, emitindo-os novamente para a atmosfera.

A Figura 14 exibe a distribuição do óxido nitroso entre os municípios da RH3 para um intervalo de 10 anos, 2008 e 2018. O teste-t aplicado entre as duas variáveis para um $p<0,05$ mostra não haver diferença de valores de N_2O para os dois anos.

Figura 14. Distribuição do óxido nitroso (N_2O) em toneladas entre os municípios da RH3

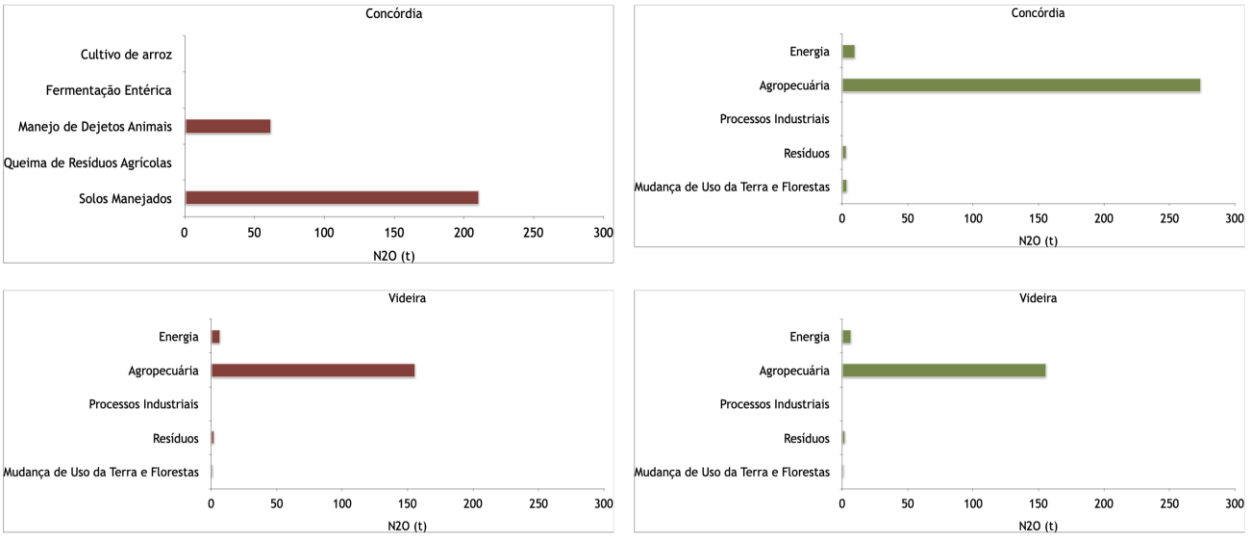


Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

Como pode ser observado, o N_2O é encontrado em menores quantidades na atmosfera do que o dióxido de carbono, entretanto possui um impacto negativo muito maior. O óxido nitroso possui capacidade de retenção de calor cerca de 300 vezes maior do que o CO_2, ou seja, uma molécula de óxido nitroso é equivalente a 300 moléculas de CO_2 na atmosfera (US EPA, 2021).

Na RH3 o total de N_2O em 2008 foi 2.540 toneladas, e 2.670 toneladas em 2018, ou praticamente estável no período de 10 anos. O maior emissor de N_2O em 2018 foi o município de Concórdia com 292 toneladas (11% do total), seguido por Videira com 166 toneladas (6%), Água Doce, Seara e Tangará, com 144 toneladas cada, equivalentes a 5% cada do total da emissão de N_2O na Regional. A Figura 15 exibe as principais fontes de emissão de N_2O para os municípios de Concórdia e Videira.

Figura 15. Emissão de N_2O, em toneladas, para os municípios de Concordia e Videira

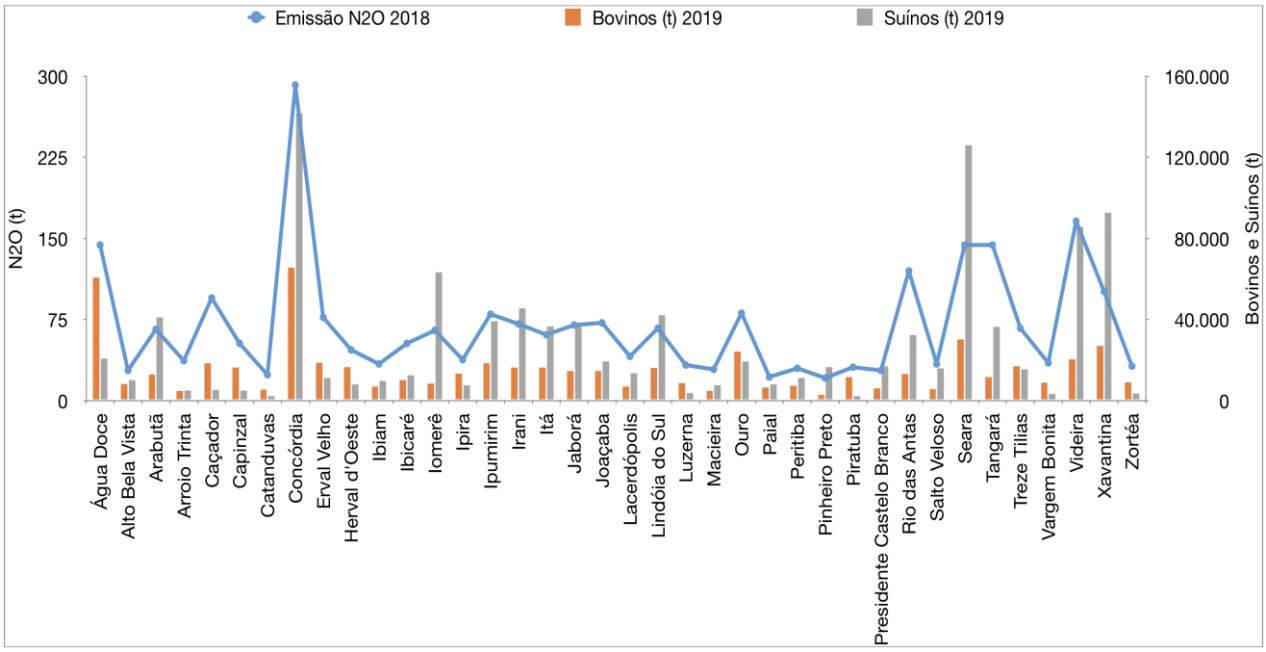


Dados: Albuquerque et al. (2021)

A Figura 15 revela o peso da agropecuária na emissão do N_2O. A economia desses municípios é baseada na agroindústria e na agropecuária, em especial a criação de suínos, bovinos e aves, além de plantações de milho e soja em minifúndios. O nitrogênio adicionado na agricultura, por fertilizantes, por um lado acelera e aumenta o rendimento de plantações, mas, por outro lado, também causa a emissão de N_2O.

A exemplo do CH_4 e CO_2, a correlação entre emissão de N_2O em 2018 e a produção de bovinos suínos foi significativa, de 0,83 e 0,78, respectivamente (Figura 26). O resultado demonstra que o aumento ou diminuição da produção de bovinos e suínos é acompanhado do aumento ou diminuição da emissão de N_2O.

Figura 16. Variação do N_2O em toneladas com a produção de bovinos e suínos, em toneladas, entre os municípios da RH3



Fonte dos dados: Albuquerque et al., 2020

De maneira geral a agricultura é o setor econômico responsável por cerca de 66% da emissão total de óxido nitroso (US EPA, 2021). Também a aquicultura toma parte nesse processo. Parte da alimentação dos organismos cultivados é transformada em óxido nitroso por processo químico e/ou biológico contribuindo para o aumento do N_2O na atmosfera. Com efeito, a RH3 se destaca pela produção de suínos, com 1.090.001 toneladas e bovinos com 600.112 toneladas em 2019. A aquicultura é representada com 2,1 mil toneladas de peixes, sendo 1.400 toneladas de tilápia e 632 toneladas de carpa.

6 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

A RH3 está sujeita a eventos climáticos extremos cada vez mais recorrentes. De 2003 a 2015 ocorreram 207 eventos de seca na RH3, uma média de cerca de 16 eventos por ano na região. Piratuba e Presidente Castelo Branco foram os municípios mais afetados. No mesmo período, foram 80 eventos de inundação, o que representa uma média de seis inundações por ano na região (ANA, 2022). O Rio do Peixe é o que apresenta o maior número de secas e inundações, 106 e 41, respectivamente, se comparados com o Rio Jacutinga, 17 secas e 8 inundações, para um período de 12 anos (2003-2015) (SDS, 2017).

Na RH3, a instabilidade climática provocada pela transição entre sistemas atmosféricos intertropicais e polares, interagindo com o relevo e altitude, podem resultar

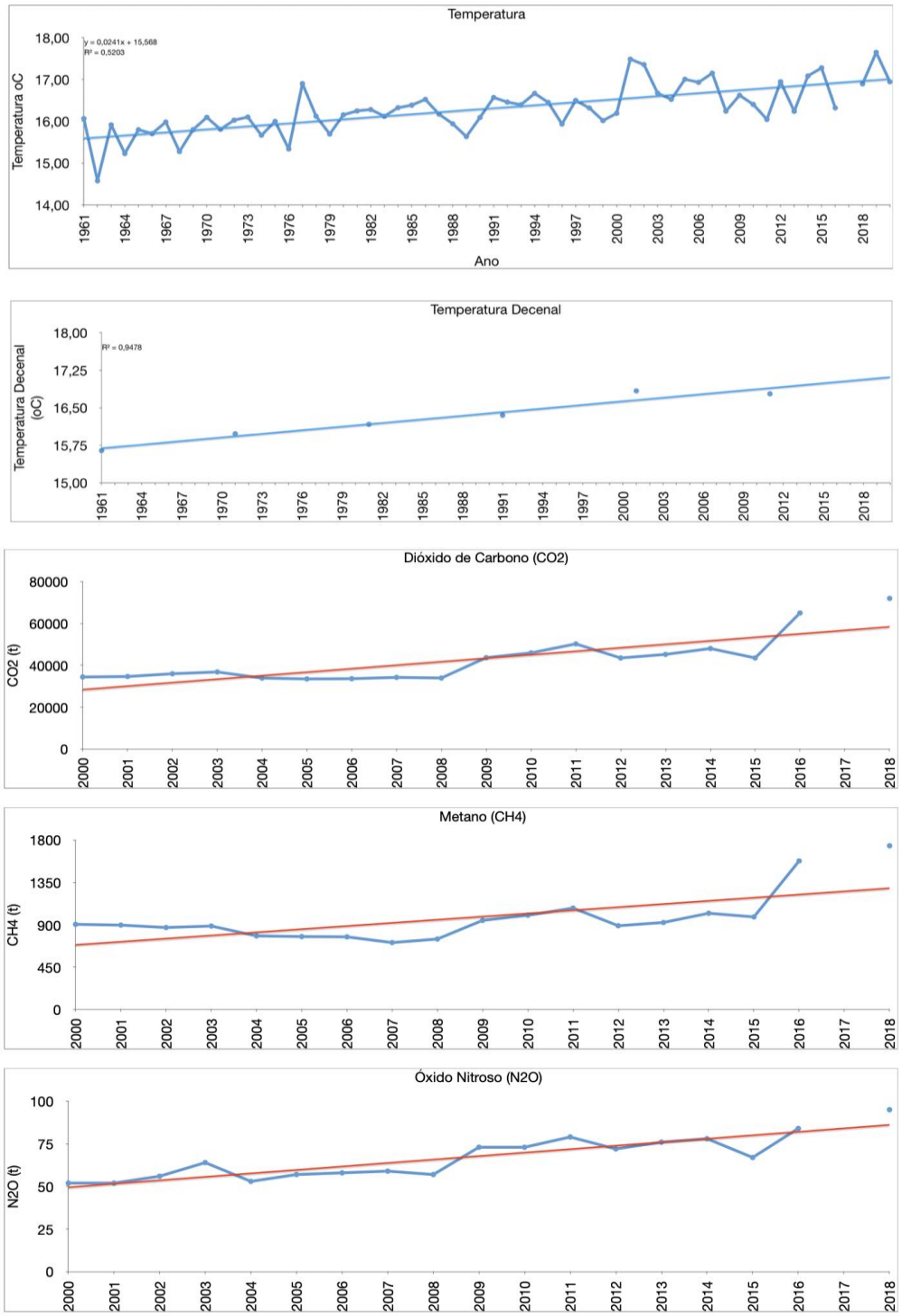
em eventos climáticos extremos, como tornados e cheias. Em 2020 ocorreram dois tornados na região, um em Água Doce e outro em Irinópolis (William, 2020). Esses dois tornados foram de categoria F1 e F2, na Escala Fujita.

O F1 que atingiu Água Doce apresentou ventos de 115 a 180 km/h. O F2, no município de Irinópolis foi ainda mais forte, de 180 a 252 km/h. Os tornados na região são originados por um sistema de baixa pressão originado pelo fluxo de ar quente e úmido vindo da Amazônia. Este movimento gera oscilações na temperatura, com produção de nuvens tipo supercélulas, que dão origem ao fenômeno.

A formação de tornados está ligada à tentativa do sistema em manter a temperatura em equilíbrio. As mudanças provocadas pela urbanização e agricultura podem provocar mudanças climáticas, dando origem a eventos extremos. A formação de gases como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), por exemplo, podem ocasionar mudanças na temperatura, afetando toda a economia do sistema. Os gases de efeito estufa já aumentaram em 1,4ºC a temperatura no sul do Brasil e a expectativa é de um aumento de temperatura de 3 a 4ºC para os próximos anos. Este cenário implica numa redução significativa da chuva, afetando a produtividade agrícola (IPCC, 2014).

A estação meteorológica da Epagri/Ciram, localizada em Caçador, é a que apresenta a maior série histórica de temperatura e precipitação entre os municípios da RH3. Os dados abrangem um período que vai de 1961 até o presente. As análises realizadas com relação às médias anuais indicam um aumento progressivo da temperatura, que já resultou num acréscimo de 1,14 ºC, de 1961 a 2020. Este aumento acompanha o aumento dos principais gases que impactam a atmosfera, dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O) (Figura 17).

Figura 17. Distribuição da temperatura ao longo de 59 anos no município de Caçador, RH3. A tendência de aumento da temperatura segue as tendências de aumentos de gases CO_2, CH_4 e N_2O



O metano, o dióxido de carbono e o óxido nitroso são os principais gases responsáveis pela mudança climática no ambiente. Na área de estudo, esses gases são produzidos principalmente pela atividade agropecuária. Fica claro que a crescente demanda por alimentos e rações para animais aumentará as emissões globais desses gases na RH3.

Infelizmente, a percepção da ação das variáveis climáticas nas vidas das pessoas e na economia, só ocorre diante de eventos climáticos severos que causam prejuízos materiais e ocasionam a perda de vidas. Pode-se afirmar que essa visão compartimentalizada do sistema é a causa principal dos problemas ambientais enfrentados. Essa falta de entendimento da relação entre o sistema natural e o econômico/social resulta em ações que não atacam as causas dos problemas, mas apenas os sintomas, gerando desperdício de recursos financeiros, além de intensificar problemas futuros.

Todos os eventos climáticos observados na RH3 são resultados de um conjunto de interação de causas e condições. Surgem como consequência de um processo, de dependência mútua entre as partes e o todo do ecossistema, por exemplo, o clima e a economia. Sem considerar as partes, ou compartimentos ecológicos, a gestão e planejamento do sistema não existe. Essa interdependência entre compartimentos ecológicos e sistema se dá tanto no espaço como no tempo. Portanto, nenhum evento climático representa um fenômeno com identidade independente ou intrínseca. Medidas de correção ou compensatórias devem ser tomadas com base no entendimento da estrutura e função do sistema.

O sequestro de carbono da atmosfera através do reflorestamento, por exemplo, pode ser uma solução para diminuir o CO_2 atmosférico, abrindo portas para captação de Green Bonds, beneficiando a economia com geração de empregos. Além disso, fontes de energia renováveis, que substituem combustíveis mais poluentes, como o carvão, também seguem essa mesma linha de financiamento. Municípios da RH3, num contexto de mudança de marco de sustentabilidade, podem reforçar a governança a partir de vários incentivos como o Plano ABC (crédito agrícola para práticas sustentáveis), emprego de projetos de descarbonização da agricultura e pecuária da Embrapa (sistema iLPF), e certificação da soja de baixo carbono. Além disso, iniciativas como estas podem impulsionar o mercado de títulos verdes (Green Bonds) com a adoção de práticas sustentáveis certificadas e a adoção do Selo Nacional de Agricultura Familiar.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio ao Programa Pesquisa e Inovação em Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) e Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (GERCO) de Santa Catarina e a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

(EPAGRI/CIRAM) por disponibilizar o banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, I., Alencar, A., Angelo, C., Azevedo, T., Barcellos, F., Coluna, I., Costa Junior, C., Cremer, M., Piatto, M., Potenza, R., Quintana, G., Shimbo, J., Tsai, D., & Zimbres, B. (2020). SEEG 8 Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. *SEEG*, 41.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (n.d.). *Portal do SNIRH: Agência Nacional de Águas*. Retrieved January 2, 2022, from http://snirh-web-hml.azurewebsites.net/

Back, A. J. (2020). Informações climáticas e hidrológicas dos municípios catarinenses (com programa HidroClimaSC). Epagri.

Bolin, B., & Doos, B. R. (1989). *Greenhouse effect*. New York, NY (USA); John Wiley and Sons Inc. https://www.osti.gov/biblio/6761224

Climate Watch. (n.d.). *2020 NDC Enhancements | Climate Watch*. Climatewatchdata. Retrieved August 22, 2021, from https://www.climatewatchdata.org/2020-ndc-tracker

Conceição, G., Vianna, L., Bacic, I., Kobiyama, M., & Filho, P. (2013). Análise Espacial do Balanço Hídrico no Meio Rural de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *18*(4), 89–100. https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n4.p89-100

Embrapa. (2012). *Atlas climático da região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul* (2 edição). Marcos Silveira Wrege, Silvio Steinmetz, Carlos Reisser Júnior, Ivan Rodrigues de Almeida.

Epagri, E. de P. A. e E. R. de S. C. (2020). *Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina.* (p. 20) [Epagri, Documentos]. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

Hepburn, C., O'Callaghan, B., Stern, N., Stiglitz, J., & Zenghelis, D. (2020). Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change? (Working Paper No. 20–02). Smith School of Enterprise and the Environment (SSEE).

IBGE. (2015). *Indicadores de desenvolvimento sustentável*. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

IBGE. (2010). *Produto Interno Bruto dos Municípios | IBGE*. https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e

IBGE SCR. (n.d.). *Contas Regionais do Brasil | IBGE*. Retrieved August 23, 2021, from https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=o-que-e

IBGE Censo Agro. (n.d.). *IBGE - Censo Agro 2017*. IBGE - Censo Agro 2017. Retrieved June 8, 2021, from https://censoagro2017.ibge.gov.br//

IBGE Portal. (n.d.). *IBGE | Portal do IBGE | IBGE*. Retrieved June 8, 2021, from https://www.ibge.gov.br/

IEA. (2020). *Sustainable Recovery. World Energy Outlook Special Report.* [World Energy Outlook Special Report]. International Energy Agency.

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES. (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas*. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.3236253

IPCC. (2014). IPCC Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (p. 151). IPCC.

IPCC, I. P. on C. C. (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis.* (IPCC AR6 WGI, p. 41). Cambridge University Press.

Marchesan, J., & Comassetto, V. (2019). ÁGUA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: O CASO DA MESORREGIÃO OESTE DE SANTA CATARINA. *Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, *5*(1), 19. https://doi.org/10.18224/baru.v5i1.734

MMA. (2006). Convenção sobre Diversidade Biológica Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança (p. 101). Ministério do Meio Ambiente.

Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L. de, Rüther, R., Abreu, S. L. de, Tiepolo, G. M., & Pereira, S. V. (2017). *Atlas brasileiro de energia solar* (2nd ed.). INPE. http://doi.org/10.34024/978851700089

Pinheiro, B., Genin, C., & Feltran-Barbieri, R. (2020, August 13). *A New Economy For a New Era: Elements for Building a More Efficient and Resilient Economy in Brazil*. WRI Brasil. https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/new-economy-brazil-efficient-resilient-build-back-better

SDS, S. de E. do D. E. S. –. (2017). *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina—PERH/SC* (p. 37). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS.

US EPA, O. (2016, January 12). *Understanding Global Warming Potentials* [Overviews and Factsheets]. US EPA. https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials

Vibrans, A. C., McRoberts, R. E., Moser, P., & Nicoletti, A. L. (2013). Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. *Remote Sensing of Environment*, *130*, 87–95.

Wijaya, A., Genin, C., Mountford, H., Walls, G., & Suarga, E. (2021). How Emerging Economies Can Pursue Green Recoveries. *World Resources Institute*. https://www.wri.org/insights/how-emerging-economies-can-pursue-green-recoveries

William, R. (2020, August 17). Entenda porque Santa Catarina está no corredor de tornados. *Notícias Do Dia*.

Wrege, M. S., Steinmetz, S., Reisser Júnior, C. R., & Almeida, I. R. de. (2012). Atlas climático da região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Embrapa.