



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
NÍVEL MESTRADO

NATHAN CAMPOS TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PELA QUEIMA DE
BIOMASSA EM SANTA CATARINA**

Florianópolis

2020

NATHAN CAMPOS TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PELA QUEIMA DE
BIOMASSA EM SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.
Coorientador: Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Teixeira, Nathan Campos

CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PELA QUEIMA DE BIOMASSA EM SANTA CATARINA / Nathan Campos Teixeira ; orientador, Leonardo Hoinaski, coorientador, Pedro Luiz Borges Chaffe, 2020.

115 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Poluição do ar. 3. Inventário de emissões. 4. Queimadas. 5. Uso e ocupação do solo. I. Hoinaski, Leonardo. II. Chaffe, Pedro Luiz Borges. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Nathan Campos Teixeira

**CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PELA QUEIMA DE
BIOMASSA EM SANTA CATARINA**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a. Marina Hirota Magalhães, Dr^a.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Davide Franco, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

Prof^a. Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr^a.
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2020.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Leonardo, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação tão importantes. Aos tantos conselhos que foram além dos trabalhos acadêmicos. Tantas vezes que nos reunimos e, embora em algumas eu chegasse desestimulado, bastavam alguns minutos de conversa e umas poucas palavras de incentivo e lá estava eu, com o mesmo ânimo do primeiro dia de aula. Obrigado por acreditar em mim e pelos tantos elogios e incentivos. Tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio. Ao meu coorientador Prof^o Pedro, por todo conhecimento compartilhado.

Aos membros da banca examinadora, Prof^a Marina e Prof. Davide, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

Aos meus colegas de laboratório, Thiago, Andy Maes, Otávio, Camilo, Robson, Fernando Campo, Fernando Rodella, Andy Blanco, Igor, Julia, Felipe e Bianca, pelo convívio diário, trocas de experiências, risadas e momentos inesquecíveis.

À minha mãe Iva e ao meu pai Agenor, por todas as lições de amor, companheirismo, amizade, caridade, compreensão e perdão que vocês me dão a cada novo dia. Sinto-me orgulhoso e privilegiado por ter pais tão especiais. Apesar da distância, não mediram esforços para me auxiliar nessa jornada.

À minha família, irmão João Vitor, sobrinhos, cunhada, tios(as), primos(as), de alguma forma me passaram energias positivas.

À minha companheira Luiza, por ter caminhado ao meu lado, pela sua paciência, compreensão e ajuda prestada durante a elaboração desse trabalho. À sua família que sempre me acolheu muito bem em diversos momentos e encontros.

Agradeço também aos meus amigos e todos aqueles que se dispuseram a ajudar-me no desenvolvimento da dissertação, seja direta ou indiretamente. Longe de casa, a companhia de vocês foram fundamentais nessa caminhada.

Enfim quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de algum modo, tornaram possível a realização da presente dissertação.

RESUMO

A queima de biomassa afeta a qualidade do ar nas escalas locais, regionais e globais. Apesar das maiores ocorrências das queimadas no Brasil se concentrarem na Amazônia e no Cerrado, para uma mitigação efetiva das emissões atmosféricas, requer uma avaliação detalhada de sua distribuição temporal e espacial em outras regiões brasileiras. Devido à presença de um contraste entre formações florestais, agricultura intensiva, pastagem, silvicultura e áreas de alta densidade populacional, o estado de Santa Catarina (SC) no sul do Brasil oferece uma oportunidade única de analisar a caracterização das emissões atmosféricas pela queima de biomassa. Desse modo, os objetivos deste trabalho visa (i) Analisar a variabilidade espacial das queimadas em Santa Catarina; (ii) Verificar a sazonalidade nas queimadas em Santa Catarina; (iii) Verificar tendências ao longo dos anos nas queimadas em Santa Catarina; (iv) Verificar a relação entre o uso e ocupação da terra e as queimadas em Santa Catarina; (v) Estimar as emissões atmosféricas originadas pelas queimadas em Santa Catarina. Foram analisados dados de focos de calor gerados pelo modelo de emissões FINN (Fire Inventory from NCAR) em Santa Catarina, de 2002 a 2017. As mesorregiões, Serrana, Oeste e Norte Catarinense são identificadas com os maiores registros de fogo em SC, com 19.134, 17.285 e 6.024 focos de calor respectivamente entre 2002 e 2017. Os eventos de incêndio ocorreram predominantemente em Florestas naturais (37%), Formação Campestre (19%) e regiões com agricultura (29%). Uma substancial redução de focos de calor é verificada de 2006 a 2015. Possivelmente devido a políticas públicas e financiamento para sistemas de vigilância e prevenção das queimadas. Em contraste, os eventos de incêndio aumentaram abruptamente, 430%, de 2015 a 2017, fato que nenhum extremo climático tenha ocorrido para justificar esse aumento. A magnitude das emissões atmosféricas oriundas da queima de biomassa em SC (*e.g.* média anual de 418.650 toneladas de CO), em alguns casos, supera às emissões veiculares em São Paulo-SP, conhecida como uma das principais fontes de poluição do ar no Brasil. Uma forte correlação entre o inventário de criação expansiva de bovinos com as queimadas indica que as emissões originadas pela queima de biomassa em SC são atribuídas as atividades antropogênicas. Outras atividades agrícolas como as culturas permanentes, temporárias e de origens florestais apresentaram correlações positivas e significativas com as queimadas. Esses resultados detalhados podem fornecer informações sobre a política de uso da terra para controlar os eventos de fogo e suas emissões associadas com as questões climáticas e de saúde relacionadas à qualidade do ar.

Palavras-chave: Poluição do ar. Inventário de emissões. Queimadas. Uso e ocupação da terra. FINN.

ABSTRACT

Burning biomass affects air quality at local, regional and global scales. Even though the greatest occurrences of fires in Brazil are concentrated in the Amazon and the Cerrado, for an effective mitigation of atmospheric emissions, it requires a detailed assessment of their temporal and spatial distribution in other Brazilian regions. Due to the presence of a contrast between forest formations, intensive agriculture, pasture, forestry and areas of high population density, the state of Santa Catarina (SC) in southern Brazil offers a unique opportunity to analyze the characterization of atmospheric emissions by burning biomass. Thus, the objectives of this work aim to (i) Analyze the spatial variability of fires in Santa Catarina; (ii) Check the seasonality of fires in Santa Catarina; (iii) Check trends over the years in the fires in Santa Catarina; (iv) Check the relationship between land use and occupation and burning in Santa Catarina; (v) Estimate the atmospheric emissions caused by the fires in Santa Catarina. Heat source data generated by the FINN (Fire Inventory from NCAR) emission model in Santa Catarina, from 2002 to 2017 were analyzed. The mesoregions, Serrana, Oeste and Norte Santa Catarina are identified with the largest fire records in SC, with 19.134, 17.285 and 6.024 fire spots respectively between 2002 and 2017. Fire spots occurred predominantly in natural forests (37%), grasslands (19%) and regions with cropland and pastures (29%). A substantial reduction in fire spots is observed from 2006 to 2015. Possibly due to public policies and funding for fire surveillance and prevention systems. In contrast, fire events increased dramatically, 430%, from 2015 to 2017, a fact that no climatic extremes have occurred to justify this increase. The magnitude of atmospheric emissions from burning biomass in SC (e.g. annual average of 418,650t of CO), in some cases, exceeds vehicle emissions in São Paulo-SP, known as one of the main sources of air pollution in Brazil. A strong correlation between the inventory of expansive cattle breeding and the burning indicates that the emissions caused by the burning of biomass in SC are attributed to anthropogenic activities. Other agricultural activities such as permanent, temporary and forestry crops showed positive and significant correlations with fires. These detailed results can provide information on land use policy to control fire events and their emissions associated with climate and health issues related to air quality.

Keywords: Air pollution. Emissions inventory. Fire emissions. Land use. FINN.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Categorias de fontes responsáveis pelo maior impacto na mortalidade prematura associado à poluição do ar em 2010. Categoria de fontes (codificada por cores): IND, indústria; TRA, tráfego terrestre; RCO, uso residencial e comercial de energia; BB, queima de biomassa; PG, geração de energia; AGR, agricultura; e NAT, natural. Áreas brancas possuem pequenas médias de $MP_{2,5}$	23
Figura 2 – Grade de subdomínios para comparação dos estoques de queima de biomassa e distribuição espacial das emissões totais de CO em 2012.....	28
Figura 3 – a) Localização do Estado de Santa Catarina, b) Relevo e mesorregiões catarinenses, onde 1) Grande Florianópolis, 2) Norte Catarinense, 3) Oeste Catarinense, 4) Serrana, 5) Sul Catarinense e 6) Vale do Itajaí.	29
Figura 4 – Cobertura de uso e ocupação da terra em Santa Catarina, a) Produto MapBiomass, b) Produto MODIS Collection 5.1 Land Cover Type, c) Evolução das classes de uso da terra em SC.	32
Figura 5 – Porcentagem das distribuições das áreas por mesorregião catarinense entre os anos de 2002 a 2017.	33
Figura 6 – Distribuição das 210 estações pluviométricas utilizadas neste trabalho.	34
Figura 7 – Fluxograma das etapas metodológicas empregadas para a análise dos padrões espaciais e temporais das queimadas em Santa Catarina.	39
Figura 8 – Densidade dos focos de calor entre os anos de 2002 e 2017. Grande Florianópolis (1). Norte Catarinense (2). Oeste Catarinense (3). Serrana (4). Sul Catarinense (5). Vale do Itajaí (6).	40
Figura 9 – Distribuição anual dos focos de calor, a) em Santa Catarina, b) nos municípios catarinenses, entre os anos de 2002 e 2017.	42
Figura 10 – Focos de calor nas mesorregiões catarinenses entre os anos de 2002 a 2017.	43

Figura 11 - Sazonalidade dos focos de calor, a) em Santa Catarina, b) boxplot mensal dos focos de calor acumulados, c) acumulado mensal dos focos de calor nos municípios catarinenses entre 2002 e 2017.....	44
Figura 12 - Distribuição mensal dos focos de calor entre os anos de 2002 e 2017 nas mesorregiões catarinenses: a) Oeste Catarinense, b) Norte Catarinense, c) Serrana, d) Vale do Itajaí, e) Grande Florianópolis, f) Sul Catarinense.	45
Figura 13 – Boxplot do Índice de Sazonalidade de Markham das mesorregiões e catarinenses entre os anos de 2002 e 2017.....	46
Figura 14 – Índice de sazonalidade de Markham, a) dos focos de calor, b) da precipitação pluviométrica, adaptado de CHAGAS; CHAFFE (2018), c) variação mensal dos focos de calor, d) variação mensal da precipitação pluviométrica entre 2002 a 2017.....	47
Figura 15 - a) Precipitação média anual entre 2002 e 2017, b) Média de dias de números secos consecutivos, considerando um evento seco medidas abaixo de 0,5mm, c) Distribuição anual da precipitação média, e d) Distribuição anual dos focos de calor entre 2002 e 2017.....	48
Figura 16 - a) Coeficiente de Mann-Kendall a nível municipal, b) Coeficiente de Theil-Sen a nível municipal, c) Coeficiente de Mann-Kendall entre as mesorregiões, d) Coeficiente de Theil-Sen entre as mesorregiões, dados entre os anos de 2002 e 2017.	49
Figura 17 – Somatório de focos de calor por classe de uso da terra dos anos de 2002 a 2017.....	51
Figura 18 – Número de focos de calor em seus respectivos usos da terra ao longo dos anos distribuídos anualmente entre 2002 e 2017, a) Floresta, b) Reflorestamento, c) Formação Campestre, d) Pastagem, e) Agricultura, f) Mosaico de Agricultura e Pastagem.....	51
Figura 19 – Distribuição das ocorrências de focos de calor pela área de cada classe de uso da terra entre os anos de 2002 a 2017.....	52

Figura 20 – Distribuição anual dos focos de calor entre as mesorregiões catarinenses para cada tipo de uso da terra entre os anos de 2002 e 2017.....	53
Figura 21 – Distribuição mensal dos focos de calor, a) Floresta, b) Reflorestamento, c) Formação Campestre, d) Pastagem, e) Agricultura, f) Mosaico de Agricultura ou Pastagem para os anos de 2002 a 2017. g) Sazonalidade das classes de uso da terra em Santa Catarina entre os anos de 2002 a 2017.	54
Figura 22 – Distribuição mensal dos focos entre as mesorregiões catarinenses e classes de uso da terra entre os anos de 2002 a 2017.	56
Figura 23 – Correlação entre números de rebanhos bovinos (cabeças) e focos de calor entre 2002 e 2017 em Santa Catarina. As correlações foram significativas para um intervalo de confiança de 95%.....	57
Figura 24 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Produtos da Produção Pecuária Municipal, a) Rebanho Extensivo, b) Rebanho Confinado. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.....	59
Figura 25 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Culturas Temporárias. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.	60
Figura 26 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Culturas Permanentes. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.	61
Figura 27 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Extração Vegetal e Silvicultura com dados de produção em toneladas. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.	62
Figura 28 - Correlações de Spearman entre os focos de calor e Extração Vegetal e Silvicultura com dados em metros cúbicos. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.	62

Figura 29 – Boxplot dos gases emitidos pelas queimadas em Santa Catarina de 2002 a 2017. Dióxido de carbono (CO ₂), monóxido de carbono (CO), material particulado de 2,5 µm (MP _{2,5}), óxido de nitrogênio (NO _x), carbono orgânico (OC), metano (CH ₄), amônia (NH ₃), compostos orgânicos voláteis (COV), carbono negro (BC) e dióxido de enxofre (SO ₂).....	63
Figura 30 - Variação anual de CO ₂ , CO, MP _{2,5} , NO _x , OC, CH ₄ , NH ₃ , COV, BC e SO ₂ emitido pelas queimadas em Santa Catarina estimadas pelo FINN 1.5 durante o período 2002-2017.....	64
Figura 31 - Estimativas de emissões anuais pelo FINN 1.5 de CO ₂ , CO, MP _{2,5} , NO _x , OC, CH ₄ , NH ₃ , COV, BC e SO ₂ de 2002 a 2017 divididas por mesorregiões em Santa Catarina.	65
Figura 32 - Distribuição anual das emissões de CO em toneladas por mesorregião catarinense e por tipo de uso da terra entre os anos de 2002 e 2017.	66
Figura 33 - Taxa de emissão por poluente, mesorregião e tipo de uso da terra em Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2017.....	67
Figura 34 - Distribuição mensal das emissões em toneladas associadas as queimadas em Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2017, a) CO ₂ , b) CO, c) NO _x , d) SO ₂ , e) NH ₃ , f) CH ₄ , g) COV, h) OC, i) BC j) MP _{2,5} , k) Variação do MSI dos poluentes CO ₂ , CO, MP _{2,5} , NO _x , OC, CH ₄ , NH ₃ , COV, BC e SO ₂ entre 2002 e 2017.....	68
Figura 35 – Distribuição anual das emissões atmosféricas originadas pelas queimadas em Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	98
Figura 36 - Distribuição anual da emissão de dióxido de carbono (CO ₂) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	99
Figura 37 - Distribuição anual da emissão de monóxido de carbono (CO) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	100
Figura 38 - Distribuição anual da emissão de óxido de nitrogênio (NO _x) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	101

Figura 39 - Distribuição anual da emissão de dióxido de enxofre (SO ₂) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	102
Figura 40 - Distribuição anual da emissão de amônia (NH ₃) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.	103
Figura 41 - Distribuição anual da emissão de metano (CH ₄) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.	104
Figura 42 - Distribuição anual da emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017....	105
Figura 43 - Distribuição anual da emissão carbono orgânico (OC) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	106
Figura 44 - Distribuição anual da emissão de carbono negro (BC) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	107
Figura 45 - Distribuição espacial da emissão anual de material particulado fino (MP _{2,5}) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017....	108
Figura 46 – Distribuição mensal da emissão de dióxido de carbono (CO ₂) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	109
Figura 47 - Distribuição mensal da emissão de monóxido de carbono (CO) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	109
Figura 48 - Distribuição mensal da emissão de óxido de nitrogênio (NO _x) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	110
Figura 49 - Distribuição mensal da emissão de dióxido de enxofre (SO ₂) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	110
Figura 50 - Distribuição mensal da emissão de amônia (NH ₃) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.	111
Figura 51 - Distribuição mensal da emissão de metano (CH ₄) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.	111

Figura 52 - Distribuição mensal da emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	112
Figura 53 - Distribuição mensal da emissão de carbono orgânico (OC) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	112
Figura 54 - Distribuição mensal da emissão de carbono negro (BC) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	113
Figura 55 - Distribuição mensal da emissão de material particulado fino (MP _{2,5}) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.....	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuições dos focos de calor e das classes agropecuárias em Santa Catarina de 2002 a 2017.....	91
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos focos de calor e área queimada por Unidade Federativa (UF) do Brasil em 2016.	25
Tabela 2 - Focos de calor por município entre 2002 e 2017.	78
Tabela 3 – Distribuição anual dos focos de calor entre as mesorregiões e para o estado de Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2017.	90
Tabela 4 – Emissões anuais dos poluentes atmosféricos originadas pelas queimadas em Santa Catarina de 2002 a 2017.	93
Tabela 5 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Oeste Catarinense de 2002 a 2017.	94
Tabela 6 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Norte Catarinense de 2002 a 2017.	95
Tabela 7 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Serrana de 2002 a 2017.	95
Tabela 8 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Vale do Itajaí de 2002 a 2017.	96
Tabela 9. Emissões associadas às queimadas na mesorregião Grande Florianópolis de 2002 a 2017.	96
Tabela 10 - Emissões associadas às queimadas no Sul Catarinense de 2002 a 2017. ...	97
Tabela 11 - Classes de uso do solo IGBP e fatores de emissão	114

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

3BEM - Brazilian Biomass Burning Emission Model
3BEM_FRP – Brazilian Biomass Burning Emission Model with fire radiative power assimilation
AC - Acre
AM - Amazonas
ANA - Agência Nacional de Águas
AP - Amapá
BC - Carbono negro
CH₄ - Metano
CO - Monóxido de carbono
CO₂ - Dióxido de carbono
COV - Compostos orgânicos voláteis
DCNT - Doenças crônicas não transmissíveis
FINN – Fire Inventory from NCAR
Gd. Fpolis - Grande Florianópolis
GFAS – Global Fire Assimilation System
GFED – Global Fire Emissions Database
HCNM - Hidrocarbonetos não metanos
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGBP – International Geosphere-Biosphere Programme
MA - Maranhão
MK - Mann-Kendall
MP - Material particulado
MP_{2,5} - Material particulado fino com diâmetro inferior a 2,5µm
MSI - Índice de sazonalidade de Markham
MT - Mato Grosso
NH₃ - Amônia
NO_x - Óxidos de nitrogênio
OC - Carbono orgânico
PA - Pará
PAM - Produção agrícola municipal

PEVS - Pesquisa da extração vegetal e da silvicultura

PI - Piauí

PPM - Pesquisa da pecuária municipal

QFED – Quick Fire Emissions Dataset

RO - Rondônia

RR - Roraima

SC - Santa Catarina

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SO₂ - Dióxido de enxofre

SP - São Paulo

TO - Tocantins

TS - Theil-Sen

V. Itajaí - Vale do Itajaí

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1	Objetivo Geral	21
1.1.2	Objetivos Específicos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	22
2.2	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS.	26
2.3	ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES ASSOCIADAS ÀS QUEIMADAS ..	26
2.4	COMPARAÇÃO ENTRE INVENTÁRIOS.....	27
3	METODOLOGIA.....	29
3.1	ÁREA DE ESTUDO	29
3.2	MODELO DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO	30
3.3	DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA.....	31
3.4	DADOS DE CHUVA EM SC.....	33
3.5	CÁLCULO DE SAZONALIDADE E TENDÊNCIAS.....	34
3.6	AGROPECUÁRIA CATARINENSE	37
4	RESULTADOS	40
4.1	PADRÕES ESPACIAIS DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA	40
4.2	SAZONALIDADE DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA	43
4.3	AVALIAÇÃO DAS TENDÊNCIAS DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA	48
4.4	RELAÇÃO ENTRE O USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E AS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA.....	50
4.5	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA.....	63
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69

6	REFERÊNCIAS.....	71
	APÊNDICE A – FOCOS DE CALOR POR MUNICÍPIO ENTRE 2002 E 2017	78
	APÊNDICE B: DISTRIBUIÇÃO DOS FOCOS DE CALOR ENTRE AS MESORREGIÕES E PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA.....	90
	APÊNDICE C: DISTRIBUIÇÕES DOS FOCOS DE CALOR E DAS CLASSES AGROPECUÁRIAS EM SC DE 2002 A 2017	91
	APÊNDICE D: EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA DE 2002 A 2017	93
	APÊNDICE E: EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS POR MESORREGIÃO CATARINENSE DE 2002 A 2017.....	94
	APÊNDICE F: EMISSÕES ANUAIS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADOS PELAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA ENTRE 2002 E 2017	98
	APÊNDICE G: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS EMISSÕES ANUAIS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADOS PELAS QUEIMADAS NOS MUNICÍPIOS DE SANTA CATARINA ENTRE 2002 E 2017	99
	APÊNDICE H: DISTRIBUIÇÃO DAS CONSOLIDAÇÕES MENSAS DAS EMISSÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS NOS MUNICÍPIOS DE SANTA CATARINA ENTRE 2002 E 2017	109
	ANEXO A.....	114

1 INTRODUÇÃO

O uso do fogo é uma alternativa corriqueira em grande parte do mundo, como um mecanismo de manejo da terra, adotada por agricultores e pecuaristas (PIVELLO, 2011; MORELLO et al., 2017). As queimadas é uma grande ameaça à conservação das florestas, em terras brasileiras, visto que a expansão do agronegócio tem potencializado incêndios, em grandes frequências e extensões territoriais. Além dos impactos ambientais, aspectos sociais, econômicos e de saúde pública estão suscetíveis ao fogo (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; STRAND et al., 2018; CAMMELLI; ANGELSEN, 2019).

As queimadas interferem na composição atmosférica através da emissão de uma grande quantidade de compostos gasosos e partículas (SILVESTRINI et al., 2011; VOULGARAKIS; FIELD, 2015). Entre os principais compostos estão: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), material particulado (entre eles, $\text{MP}_{2,5}$), hidrocarbonetos não metanos (HCNM), óxidos de nitrogênio (NO_x), entre outros (ARTAXO et al., 2005; URBANSKI; HAO; BAKER, 2008). A exposição humana a estes compostos estão associados a efeitos adversos à saúde (BAI et al., 2018), especialmente em populações de maiores vulnerabilidades (*e.g.* idosos, crianças e de aspectos econômicos) (CAPLIN et al., 2019). Estima-se que 3 bilhões de pessoas no mundo estejam expostas à poluição do ar causada pelas queimadas (WHO, 2020). No Brasil, a queima de biomassa é a principal fonte de poluição do ar associada à mortalidade prematura (LELIEVELD et al., 2015). Estimativas (WIEDINMYER et al., 2011) apontam a queima de biomassa como responsável por 51% das emissões globais de CO. Em relação ao material particulado e carbono negro (BC), o percentual atinge até 73% e 41% das emissões globais, respectivamente (BOND; WOODWARD; MIDGLEY, 2005).

O período de contribuição das emissões associadas às queimadas, geralmente se apresenta em épocas com condições meteorológicas favoráveis para as suas ocorrências. Desta forma, o clima é um importante fator para os registros de focos de calor, capaz de controlar a quantidade de biomassa e a propagação do fogo (JOLLY et al., 2015). Estudos apontam grandes variações na ocorrência interanual das queimadas associadas com eventos climáticos (HOOGHIEMSTRA et al., 2012; PHILLIPS;

NOGRADY, 2020), bem como, variações intra-anuais motivada por uma estação seca mais curta ou extensa (CHEN et al., 2017). A importância de caracterizar padrões auxiliam na compreensão da dinâmica das áreas afetadas pelo fogo (TURCO et al., 2019).

Os dados estimados por sensores remotos representam a principal fonte de informação para analisar as atividades das queimadas e avaliar suas emissões (PEREIRA et al., 2016). Atualmente, existem vários inventários de emissões empregados em diferentes resoluções espaciais e temporais, capazes de mensurar a origem e a magnitude dos poluentes emitidos. Estes estudos são baseados principalmente no produto da área queimada, cargas de combustível, fatores de combustão, fatores de emissões ao longo do tempo e espaço e de múltiplos conjuntos de dados de satélite, tais como *Fire Inventory from NCAR- FINN* (WIEDINMYER et al., 2011), *Global Fire Emissions Database – GFED* (VAN DER WERF et al., 2017) e *Brazilian Biomass Burning Emission Model – 3BEM* (LONGO et al., 2010).

Embora a mitigação efetiva das emissões de queima de biomassa exija uma avaliação nacional detalhada nas escalas regional e local, a maioria dos estudos sobre incêndios e emissões de queima de biomassa foi conduzida nas escalas continental e global (Wiedinmyer et al., 2010; Wiedinmyer et al., 2006; Zhang et al., 2017). A variação espaço-temporal dos poluentes emitidos precisa ser esclarecida em escalas regionais para avaliar e propor políticas de prevenção da poluição e trabalhos futuros devem ser feitos para enfatizar as diferenças regionais e sazonais (Andreae, 2019). É imperativo que quantifiquemos os controles climáticos e antropogênicos sobre as emissões de incêndios, especialmente em áreas altamente povoadas com agricultura intensiva em grande escala. No Brasil, os maiores registros do uso do fogo se concentram na Amazônia e no Cerrado (COCHRANE et al., 2009; PIVELLO, 2011; MORELLO et al., 2017; MATAVELI et al., 2019). No entanto, pouco se sabe sobre as emissões da queima de biomassa em outras regiões do país. O estado de Santa Catarina (SC), apresenta uma das maiores taxas de internações hospitalares relacionadas à poluição do ar (Ministério da Saúde, 2020). SC tem sido um importante produtor de carne, soja, milho e madeira no Brasil (IBGE, 2020); e suas atividades agrícolas e industriais intensivas estão relacionadas a uma longa história de desmatamento (Joly et al., 2014). Embora a agricultura em grande escala seja comum, em SC, existem grandes

porções de florestas nativas protegidas desde a década de 1970 (Dias et al., 2016; Leite et al., 2012). Estudos apresentam que 20% das exportações de soja e carne da Amazônia e do Cerrado podem estar ligadas ao desmatamento ilegal (Rajão et al., 2020), a ligação entre o desmatamento e o uso extensivo da terra para a produção de carne em outras áreas não é clara (Silva et al. 2021). Devido à presença contrastante de remanescentes florestais, agricultura intensiva e áreas altamente povoadas, SC oferece uma oportunidade única de analisar a influência do uso da terra e do clima nas emissões de incêndios.

Para tanto, a proposta desse trabalho visa combinar dados de modelos de estimativas de emissões atmosféricas, do uso e cobertura da terra e dados de precipitação para compreender a distribuição espacial e sazonal das queimadas em SC, identificar o comportamento de padrões bem como quantificar as emissões atmosféricas originadas pela queima de biomassa no estado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os fatores que controlam as emissões atmosféricas originadas pelas queimadas em Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos Específicos

- (i) Analisar a variabilidade espacial das queimadas em Santa Catarina.
- (ii) Verificar a sazonalidade nas queimadas em Santa Catarina.
- (iii) Verificar a tendências ao longo dos anos nas queimadas em Santa Catarina.
- (iv) Verificar a relação entre o uso e ocupação da terra e as queimadas em Santa Catarina.
- (v) Estimar as emissões atmosféricas originadas pelas queimadas em Santa Catarina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

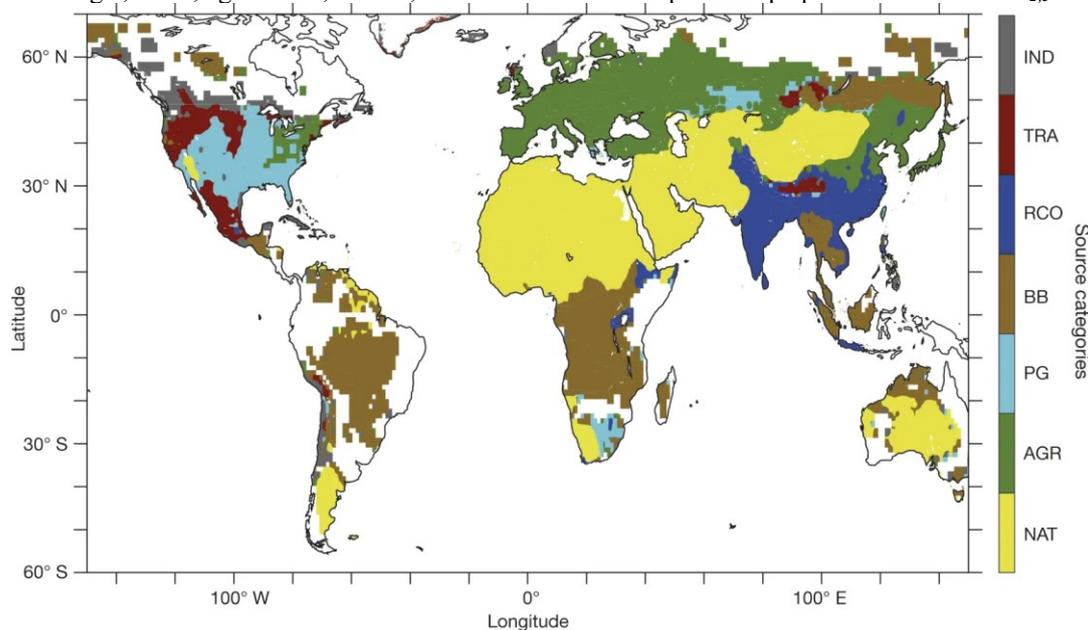
2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar há muito tempo é reconhecida como um fator de risco para várias doenças, aumentando as internações hospitalares e a mortalidade por diversas causas (DOCKERY et al., 1993; BRUNEKREEF; HOLGATE, 2002; POPE et al., 2002; BEATTY; SHIMSHACK, 2014). No último dado levantado pela Organização Mundial da Saúde, cerca de 7 milhões de pessoas no mundo morrem a cada ano decorrente dos efeitos da má qualidade do ar, o que representa uma taxa global de 114 mortes a cada 100.000 habitantes (WHO, 2020).

No Brasil, mortes atreladas às doenças crônicas não transmissíveis - DCNT (*e.g.* doenças no aparelho circulatório, doenças respiratórias, doença pulmonar obstrutiva) e à poluição atmosférica aumentaram de 38.782 em 2006 para 44.228 em 2016. Prioridade para a saúde pública, as DCNT foram responsáveis por 72% dos óbitos registrados no Brasil em 2007. Em relação a Santa Catarina, o câncer de pulmão (pertencente ao quadro DCNT) ligado a má qualidade do ar, protagonizaram uma das maiores variações de mortalidade no Sul do Brasil entre 2006 e 2016, com cerca de 26% de aumento. A maior incidência de casos está relacionado aos grandes centros urbanos e os estados castigados pelas queimadas (SCHMIDT et al., 2011; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019).

Grande parte dos estudos sobre poluição do ar na região sudeste e sul do Brasil têm se concentrado nas emissões originadas pela queima de combustíveis fósseis em centros urbanos (MOLINA; MOLINA, 2012; ANDRADE et al., 2017; BRITO et al., 2018). No entanto, um levantamento global da caracterização de fontes responsáveis por mortalidades prematuras associadas com o $MP_{2,5}$, identificou às queimadas como a principal fonte, correspondente a 70% das causas, apresentados na Figura 1 (LELIEVELD et al., 2015).

Figura 1 - Categorias de fontes responsáveis pelo maior impacto na mortalidade prematura associado à poluição do ar em 2010. Categoria de fontes (codificada por cores): IND, indústria; TRA, tráfego terrestre; RCO, uso residencial e comercial de energia; BB, queima de biomassa; PG, geração de energia; AGR, agricultura; e NAT, natural. Áreas brancas possuem pequenas médias de $MP_{2,5}$.



Fonte: LELIEVELD et al. (2015).

Na Amazônia, mais de 10 milhões de pessoas estão diretamente expostas a altos níveis de poluentes resultantes do desmatamento e das queimadas (DE OLIVEIRA ALVES et al., 2017).

No Cerrado, outro importante bioma brasileiro, também sofre com a ocorrência de queimadas, mais de 1Tg de $MP_{2,5}$ são emitidos em média por ano (representando 25% da emissão do poluente originado por queimadas no Brasil) (MATAVELI et al., 2019). Grande parte do fogo e do desflorestamento no bioma decorre de uma expansão agrícola maciça em diversos estados brasileiros (e.g. Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia) (TOLLEFSON, 2018).

A interação entre o desmatamento, eventos de perturbações (e.g. incêndios) e as mudanças climáticas podem conduzir processos de “savanização” (FLORES et al., 2016; STAAL et al., 2018). Em geral, as florestas no sul do Brasil, como a Mata Atlântica, apresentaram menores índices de resiliência quando comparado a setores da Amazônia (HIROTA et al., 2011). A conversão da floresta em pastagens e as queimadas estão relacionados com essa “savanização” na Mata Atlântica brasileira (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; SANSEVERO et al., 2020).

Em 2017 quase 18.000 focos de calor foram registrados na Mata Atlântica (INPE, 2020). Grande parte desses incêndios tem origem antrópica, geralmente associada a prática de corte e queima (TORRES et al., 2018; DOS SANTOS et al., 2019). O uso do fogo está fortemente ligado a questões culturais, econômicas e em diversas atividades no uso e ocupação da terra entre as regiões do país (RIBEIRO et al., 2018; ESCOBAR, 2019).

Apesar das concentrações elevadas de focos de calor nos estados da Amazônia Legal (Pará (PA), Tocantins (TO), Roraima (RO), Amazonas (AM), Acre (AC), Roraima (RR), Amapá (AP), Maranhão (MA), Piauí (PI) e Mato Grosso (MT)), outras unidades federativas tem apresentado significativas densidades de focos por suas respectivas áreas. Santa Catarina por exemplo, apresentou a segunda maior densidade de focos de calor e a maior em porcentagem de área estadual queimada entre o sul e sudeste brasileiro (Tabela 1) (TEIXEIRA et al., 2019).

Tabela 1 – Distribuição dos focos de calor e área queimada por Unidade Federativa (UF) do Brasil em 2016.

	UF	Área (km ²)	Nº focos	Nº focos por área (km ²)	Área queimada (km ²)	%Área estadual queimada
Norte	PA	1.247.955	59.013	0,047	44.481	3,6
	TO	277.720	33.381	0,120	22.099	8,0
	RO	237.765	22.268	0,094	16.252	6,8
	AM	1.559.146	20.895	0,013	17.737	1,1
	AC	164.123	12.269	0,075	10.241	6,2
	RR	224.300	11.716	0,052	9.938	4,4
	AP	142.828	5.559	0,039	4.521	3,2
Nordeste	MA	331.936	44.492	0,134	23.883	7,2
	PI	251.611	17.020	0,068	11.374	4,5
	BA	564.732	14.794	0,026	9.946	1,8
	CE	148.887	8.304	0,056	5.101	3,4
	PE	98.076	2.579	0,026	1.601	1,6
	PB	56.468	1.813	0,032	1.117	2,0
	AL	27.848	1.560	0,056	1.004	3,6
	RN	52.811	1.293	0,024	784	1,5
	SE	21.918	433	0,020	276	1,3
Centro Oeste	MT	903.202	64.783	0,072	43.367	4,8
	GO	340.106	14.550	0,043	9.480	2,8
	MS	357.145	13.775	0,039	9.690	2,7
Sudeste	MG	586.520	17.154	0,029	11.173	1,9
	SP	248.219	10.015	0,040	6.631	2,7
	RJ	43.781	2.133	0,049	1.298	3,0
	ES	46.086	1.719	0,037	1.163	2,5
Sul	PR	199.307	9.035	0,045	7.089	3,6
	RS	281.737	6.077	0,022	4.976	1,8
	SC	95.737	4558	0,048	4.071	4,3

Fonte: TEIXEIRA et al. (2019).

O emprego de técnicas de sensoriamento remoto aliado com dados de campo permite um amplo monitoramento em diferentes escalas, auxiliando na obtenção de dados sobre distribuição espacial, temporal e nos padrões das ocorrências das queimadas (RIGGAN et al., 2004; ICHOKU; KAHN; CHIN, 2012). Apesar de incertezas causadas pelas dinâmicas espaço-temporais e passíveis às imprecisões, o sensoriamento remoto apresenta um método eficaz e econômico na aplicação de áreas e que possa abranger uma heterogeneidade de espaço e tempo da atividade do fogo (SETZER; PEREIRA; PEREIRA, 1994; KAISER et al., 2012).

2.2 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS

A quantificação das emissões de gases e materiais particulados associados à queima de biomassa é essencial para a investigação dos impactos na qualidade do ar. As emissões são substancialmente divididas em duas fases de combustão: a fase de chama e a de incandescência. Durante a fase de chama, o composto majoritariamente emitido é o Dióxido de Carbono (CO_2), originado pelo consumo do combustível disponível. As emissões de CO_2 podem ter implicações importantes na compreensão do ciclo do carbono e mudanças climáticas (LACIS et al., 2010; STIPS et al., 2016). Na fase de incandescência predominam as emissões parcialmente oxidadas, em que componentes químicos como monóxido de Carbono (CO), Carbono Negro (BC), Carbono Orgânico (OC), Óxidos Nitrosos (NO_x), Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Metano (CH_4) e Material Particulado (MP) de diversos diâmetros (*e.g.* MP_{10}) são incorporados à atmosfera (ANDREAE; MERLET, 2001; ICHOKU; KAUFMAN, 2005).

A elaboração de inventários em diversas escalas, além de possibilitar quantificar e qualificar a emissão de compostos na atmosfera, auxilia na definição de áreas prioritárias para o controle de emissões. Além disso, as informações dos inventários de fontes de emissão atmosférica podem servir em dados de entrada de modelos de dispersão de poluentes, com intuito de estimar os efeitos das emissões no nível de concentração dos poluentes. (BRASIL, 2011).

2.3 ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES ASSOCIADAS ÀS QUEIMADAS

Os inventários associados às queimadas são realizados a partir da quantificação dos aerossóis e gases traços resultantes do processo da queima. O método tradicional que estima as emissões entre a biomassa queimada e o fator de emissão para cada espécie é demonstrada na Equação 1 (SEILER; CRUTZEN, 1980):

$$M^{[E]} = FE^{[E]} \cdot BB \quad (1)$$

em que, " $M^{[E]}$ " é a massa emitida pela espécie E (g), $FE^{[E]}$ é o fator de emissão para a espécie E (g.kg^{-1}) e BB representa o total de biomassa queimada (kg).

A estimativa de biomassa queimada durante o processo de combustão é um processo complexo e pode induzir erros significativos nos resultados finais. Desta forma, vários métodos vêm sendo desenvolvidos ao longo do tempo no sentido a estimar a biomassa queimada com maior acurácia. Tradicionalmente, a quantidade de biomassa queimada é estimada a partir da Equação 2 (SEILER; CRUTZEN, 1980) :

$$BB = A \cdot B \cdot \alpha \cdot \beta \quad (2)$$

onde, BB é a quantidade de biomassa queimada (kg), A é a área queimada (km^2), B é a densidade de biomassa de uma determinada classe de uso da terra (kg.km^{-2}), α representa a fração de biomassa queimada, β representa a eficiência de queima.

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE INVENTÁRIOS

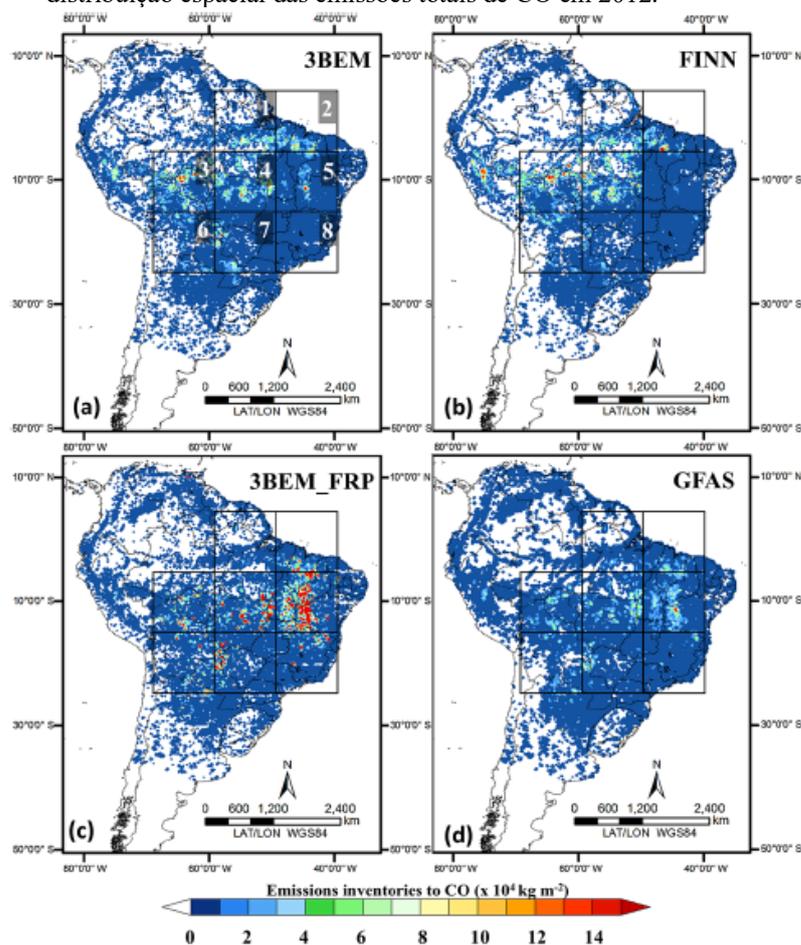
Os conjuntos de dados dos inventários de emissões associados às queimadas são comumente distribuídos em regiões continentais com o objetivo de agrupar áreas com padrões e sazonalidades semelhantes. A África tem sido o maior contribuinte para as emissões globais de CO_2 decorrentes da combustão de biomassa com uma média de 2.203 Tg anuais do composto, acompanhado pelo Hemisfério Sul da América do Sul – SHSA (1.585 Tg ano^{-1}) e Sudeste da Ásia - SEAS (1.274 Tg ano^{-1}). As emissões de CO_2 dessas três regiões cobrem mais 70% dos valores anuais globais e em média 77% das áreas queimadas (SHI et al., 2015).

Alguns inventários globais de emissões destinados às queimadas (GFEDv4s, FINNv1.5, GFASv1.2, QFEDv2.4r1, FEERv1.0-G.1.2) identificaram coeficientes de variação entre os modelos de até 52% entre os poluentes estimados (LIU et al., 2020). Na América do Sul a variação entre os modelos foi de 46% (SHI et al., 2015; LIU et al., 2020).

Afim de refinar a avaliação entre os modelos de emissões atmosféricas no Brasil, Pereira et al. (2016), comparou resultados da distribuição espacial e da emissão de CO entre inventários (3BEM, FINN, 3BRM_FRP, GFAS) em 8 subdomínios distribuídos em diversos estados brasileiros (Figura 2). As maiores correlações dos modelos avaliados foram entre o 3BEM e o FINN, com um coeficiente de 0.86 (PEREIRA et al., 2016). Além destes modelos, Santos (2018) avaliou resultados com

mais três inventários; QFED, C3BEM_FRP e GFED, em uma abrangência semelhante ao de Pereira et al. (2016), onde, também identificou correlações significativas entre eles. Nos trabalhos citados, nenhum subdomínio contemplou a emissão no estado Santa Catarina. As áreas mais próximas de SC são compostas pelo *Grid 7* e *Grid 8*. Nessas, os melhores resultados avaliados foram decorrentes do FINN.

Figura 2 – Grade de subdomínios para comparação dos estoques de queima de biomassa e distribuição espacial das emissões totais de CO em 2012.



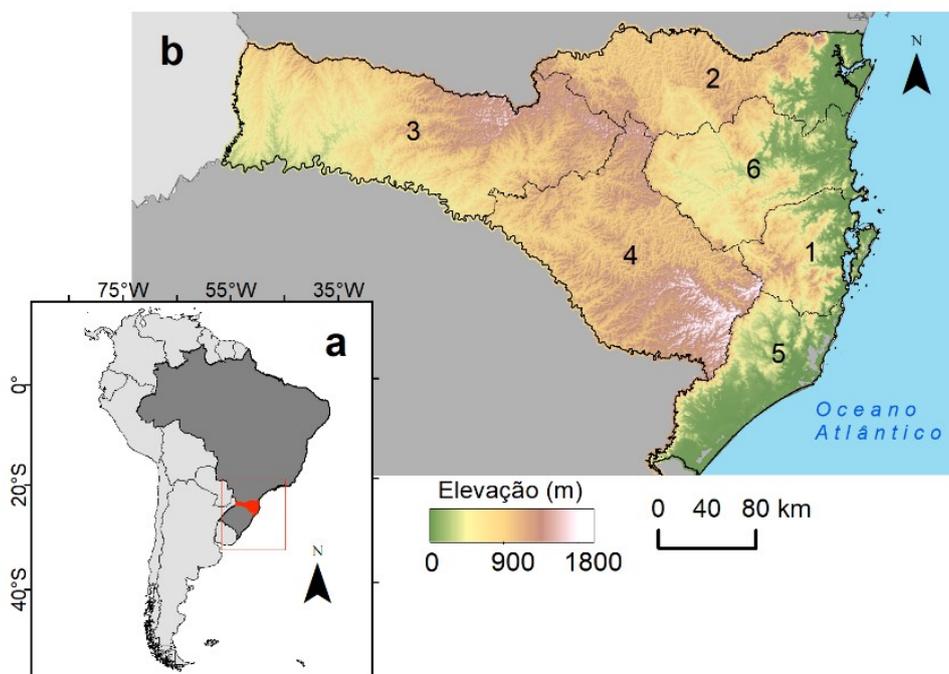
Fonte: Pereira et al. (2016).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Santa Catarina (SC) é uma das 27 unidades federativas do Brasil e está localizada no centro da região Sul do país ($25^{\circ}57' - 29^{\circ}23'S$ e $48^{\circ}19' - 53^{\circ}50'O$). O clima é classificado por Köppen-Geiger como subtropical úmido, com temperaturas médias anuais entre $18-22^{\circ}C$ em altitudes mais baixas (0-400m) e $12-18^{\circ}C$ em altitudes mais altas ($>400m$) (ALVARES et al., 2013). O estado possui 295 municípios, abrangendo em uma área de 95.300 km² (IBGE, 1990), sendo constituído por seis mesorregiões: Grande Florianópolis (Gd. Fpolis), Norte, Oeste, Serrana, Sul e Vale do Itajaí (V. Itajaí) (Figura 3). Estas divisões regionais congregam diversos municípios de uma área geográfica com similaridades econômicas e sociais e tendo como objetivo centralizar as atividades das secretarias estaduais.

Figura 3 – a) Localização do Estado de Santa Catarina, b) Relevo e mesorregiões catarinenses, onde 1) Grande Florianópolis, 2) Norte Catarinense, 3) Oeste Catarinense, 4) Serrana, 5) Sul Catarinense e 6) Vale do Itajaí.



3.2 MODELO DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO

As estimativas de emissões atmosféricas utilizadas neste trabalho seguiram o modelo Fire Inventory from NCAR (FINN), versão 1.5, do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica dos Estados Unidos (<http://bai.acom.ucar.edu/Data/fire/>). Esse modelo fornece estimativas globais diárias (1 km) de poluentes do ar provenientes da queima aberta de biomassa (incêndios florestais, incêndios agrícolas e queimadas prescritas). As estimativas do FINN não incluem o uso de biocombustíveis e queima de lixo. Por meio de produtos de anomalias térmicas MODIS o FINN detecta os incêndios ativos (WIEDINMYER et al., 2011). Uma compilação de fatores e emissão para várias espécies gasosas e partículas estão presentes no modelo. Com o perfil de especiação da GEOS-chem (Bey et al., 2001) (Anexo A). O modelo utiliza o Collection 5 MODIS Land com o padrão de 16 classes de uso da terra definido pelo International Geosphere Biosphere Programme (IGBP) e também o produto MODIS Vegetation Continuous Fields (VCF) para identificar a densidade da vegetação em cada pixel com foco de queimada. Os valores referentes à quantidade de biomassa disponível para a queima acima do solo são baseados no trabalho de Hoelzemann et al. (2004) e o fator de emissão em Andreae e Merlet (2001) e Akagi et al. (2011). Dessa forma, a Equação 3 apresenta a estimativa por poluente atmosférico:

$$E_i = A(x, t).B(x).FB.FE \quad (3)$$

onde, “ E_i ” é a emissão do poluente i ; “ A ” é a área queimada no tempo “ t ” e localização “ x ”; “ B ” representa a proporção de biomassa na localização “ x ”; “ FB ” a fração de biomassa queimada em “ x ” e “ FE ” o fator de emissão da espécie “ i ”.

Avaliamos as emissões de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), material particulado com diâmetros inferiores a $10 \mu m$ ($MP_{2,5}$), óxidos de nitrogênio (NO_x), carbono orgânico (OC), metano (CH_4), amônia (NH_3), compostos orgânicos voláteis (COV), carbono negro (BC) e dióxido de enxofre (SO_2). A presente análise foi realizada com dados diários de focos de calor obtidos entre 01 de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2017, o ano de 2002 foi motivada pelo fato de ser o primeiro disponibilizado pelo modelo.

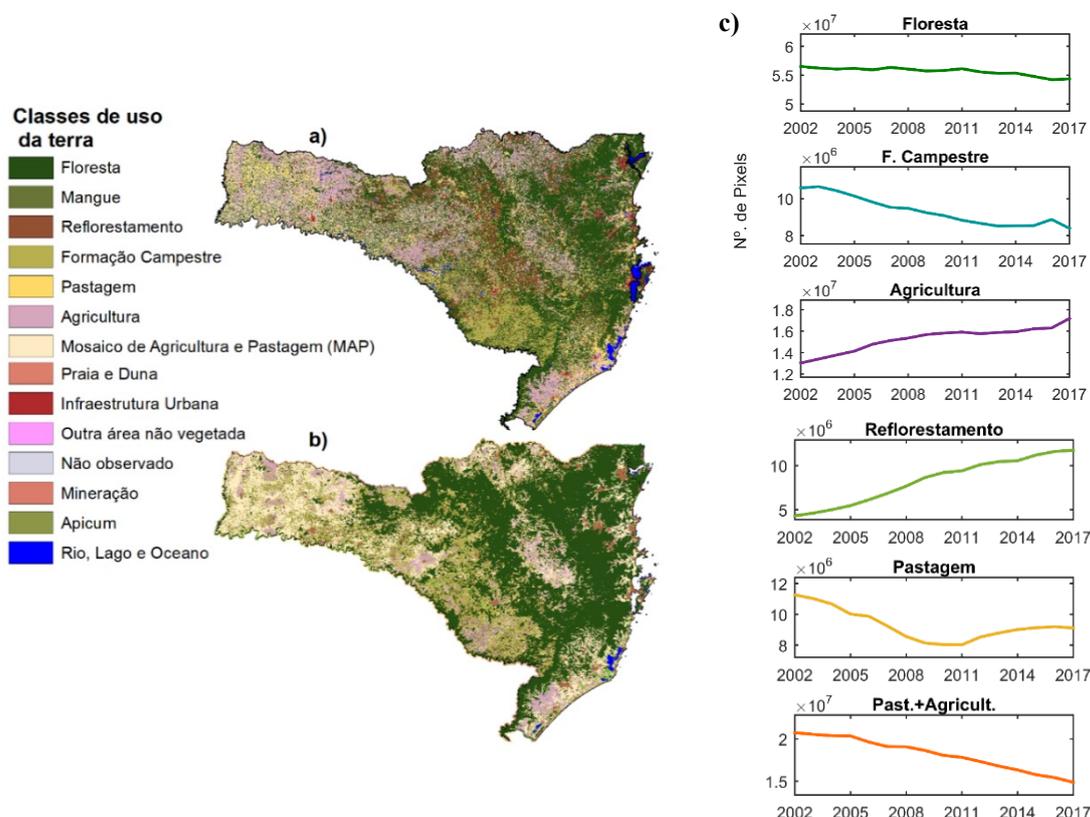
Para analisar a ocorrência das queimadas em relação ao uso e cobertura da terra, além dos dados espaciais contidos no próprio modelo, uma sobreposição das coordenadas geográficas dos focos de calor com os dados de uso e cobertura da terra do modelo MapBiomias (<http://mapbiomas.org/>) foi realizada. Os dados das estimativas de emissão do trabalho não levaram em consideração o produto de uso da terra do MapBiomias.

3.3 DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA

A Coleção 3 do produto MapBiomias é capaz de identificar sutis mudanças na cobertura da terra, por meio do processamento de imagens *LandSat*. Este produto utiliza imagens com uma resolução espacial de 30 metros, apresentados em padrões Lat/Long e WGS84. Visto que o Land Cover Type (LCT) presente no FINN possui uma cobertura espacial de 500 metros de resolução, com o MapBiomias se torna possível uma análise mais refinada das variações anuais e dos eventos de queimadas nas classes de uso da terra (Figura 4c).

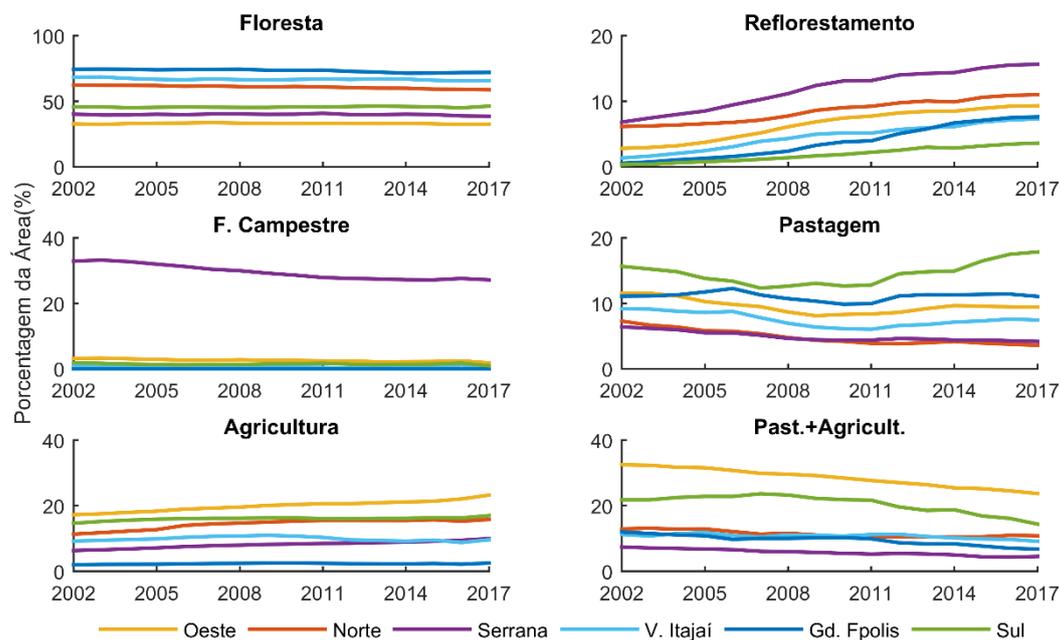
Os mosaicos das classes presentes do MapBiomias estão em formato *Geographical Tagged Image Format File* (GeoTIFF). Com auxílio da *toolbox LTLN2VAL* do software MATLAB®, foi possível extrair informações de cada *pixel* das imagens do produto para locais especificados, neste caso, o ponto específico são as coordenadas dos focos de calor. Foram avaliadas as classes com registros de focos de calor superiores a 1,5% entre os anos de 2002 a 2017, o mesmo período amostral dos dados de queimadas. Sendo assim, consideramos 6 dos 14 tipos de uso da terra listados no projeto MapBiomias para Santa Catarina: Floresta, Formação Campestre, Reflorestamento, Pastagens e Mosaico de Agricultura ou Pastagem (Past.+Agricult.), estão dispostas na Figura 4c.

Figura 4 – Cobertura de uso e ocupação da terra em Santa Catarina, a) Produto MapBiomias, b) Produto MODIS Collection 5.1 Land Cover Type, c) Evolução das classes de usa da terra em SC.



A distribuição das classes de uso da terra por mesorregião catarinense é apresentada na Figura 5. As áreas de Reflorestamento e Agricultura mostram expansões em todas as mesorregiões. Gd. Fpolis e V. Itajaí são caracterizadas por grandes áreas de Florestas Naturais (65-75% de suas áreas totais são compostas por esta classe) e também possuem semelhanças na proporção de áreas de Reflorestamento. A mesorregião Serrana se destaca pelas áreas de F. Campestre e Reflorestamento, enquanto as maiores proporções Agricultura e Pastagens estão no Oeste e no Sul catarinense.

Figura 5 – Porcentagem das distribuições das áreas por mesorregião catarinense entre os anos de 2002 a 2017.

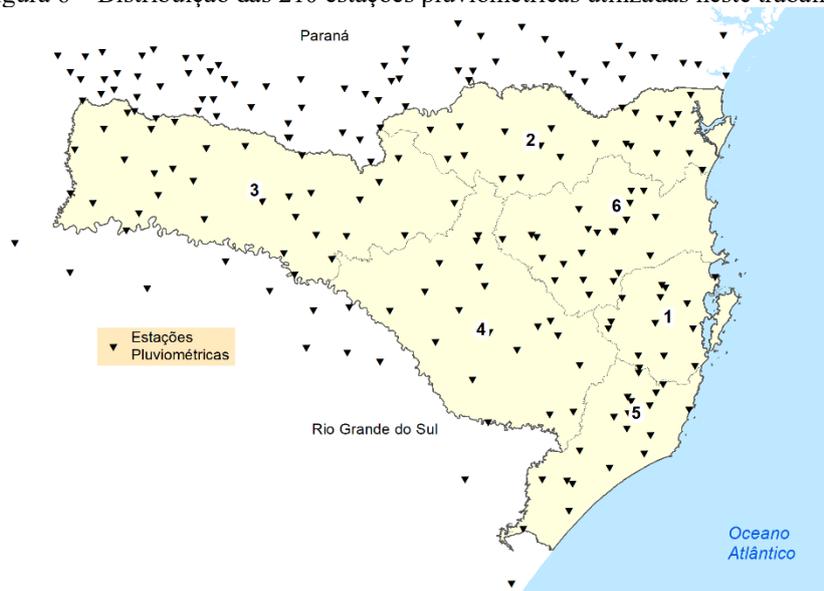


3.4 DADOS DE CHUVA EM SC

A variabilidade temporal da precipitação em SC e a sazonalidade foram avaliadas usando dados diários de chuva medidos em pluviômetros disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>) entre os anos de 2002 a 2017.

De todas as estações disponibilizadas pela ANA em SC, foram selecionadas aquelas que continham um índice menor de 10% em relação a falhas de dados para o período; além das estações instaladas em SC, também foram inseridas nos cálculos, aquelas com uma distância máxima de 50 km a partir dos limites do Estado, totalizando 210 estações elegíveis (Figura 6). Os dias com ausência de medições foram preenchidos com a chuva média das três estações mais próximas. Foram considerados como dias secos, ou dias sem chuva, os acumulados diários abaixo de 0,5 mm de chuva.

Figura 6 – Distribuição das 210 estações pluviométricas utilizadas neste trabalho.



3.5 CÁLCULO DE SAZONALIDADE E TENDÊNCIAS

O índice de sazonalidade das queimadas em Santa Catarina foi calculado usando o método proposto por Markham (1970), estudos envolvendo chuvas e vazões já aplicaram o método para o Estado (CHAGAS; CHAFFE, 2018). O método aplicado neste trabalho busca identificar a distribuição mensal das ocorrências das queimadas na série. Este índice varia de zero a um, sendo zero a menor sazonalidade, ou seja, a média anual está distribuída de maneira regular ao longo dos meses, e um, quando as ocorrências se concentram em apenas um mês. Este índice é uma estatística circular, o início foi configurado como o primeiro dia de cada ano. A variável (focos de calor) é representada como um vetor, sua magnitude corresponde a soma mensal das ocorrências e direção igual ao ângulo em função do mês. Portanto, no caso das queimadas, o índice é calculado com o vetor resultante:

$$R = (R_Y^2 + R_X^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

onde, R_Y e R_X são as somas das projeções de dois eixos ortogonais:

$$R_Y = \sum_{m=1}^{12} F_m \text{sen}(\phi_m) \quad (5)$$

$$R_X = \sum_{m=1}^{12} F_m \text{cos}(\phi_m) \quad (6)$$

onde, m corresponde ao mês; F_m é a quantidade total de focos de calor para o respectivo mês; ϕ_m é o ângulo calculado a partir do dia médio do mês, considerando que o ano completo possui um total de 360 graus. Sendo assim, o Índice de Sazonalidade de Markham (MSI) é:

$$MSI = \frac{R}{\sum_{m=1}^{12} F_m} \quad (7)$$

Para a análise de tendências entre as variabilidades anuais das queimadas ao longo de SC, foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) (MANN, 1945; KENDALL, 1957), alguns estudos adotaram o método na exploração de tendências de dados de fogo e comportamento de gases (RODRIGUES; JIMÉNEZ; DE LA RIVA, 2016; ZEB et al., 2019; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020). O conjunto de dados foram analisados pelas ocorrências entre os municípios e padronizados a partir de sua respectiva média. Seu cálculo é realizado por meio de pares de valores ao longo do tempo, onde a análise determina se existe uma tendência significativa nos dados e se possui características positivas ou negativas. O método baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula, de que não exista tendência na série de dados (para uma série formada por dados independentes), adotando-se um nível de significância (α), consideramos neste trabalho $\alpha = 5\%$. O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a H_0 quando esta for verdadeira (MANN, 1945; KENDALL, 1957).

O teste estima o coeficiente de Mann-Kendall através da Equação 8:

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i) \quad (8)$$

onde, n é comprimento da série (em anos, de 2002 a 2017), x_i e x_j são os valores sequenciais da série, e:

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (9)$$

A variância nos dados é representada pela equação:

$$V(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (8)$$

onde, m é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados, i representa a quantidade de repetições de uma extensão i . O teste estatístico padronizado é calculado:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{V(s)}}; & \text{se } s > 0 \\ 0; & \text{se } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{V(s)}}; & \text{se } s < 0 \end{cases} \quad (10)$$

Valores positivos de Z_{MK} indicam uma tendência crescente na série, ao passo que valores negativos de Z_{MK} identificam uma decrescente. O teste de Mann-Kendall identifica tendências em apenas uma direção da série, independente da sua magnitude. O teste é pouco afetado por outliers (MEALS et al., 2011).

Enquanto que o teste de Mann-Kendall identifica tendências de aumento ou diminuição, o teste não paramétrico de Theil-Sen (TS ou sen's slope) (SEN, 1968; THEIL, 1992), também é possível identificar as tendências, além de quantificar a magnitude. As tendências de TS foram verificadas em outros trabalhos com as queimadas em diferentes áreas (ROY et al., 2008; HISLOP et al., 2020). O estimador de declividade de TS é calculado a partir da mediana de todas as declividades entre todos os pares de pontos na série, representado pela equação:

$$\beta = \text{mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \forall i < j \quad (11)$$

onde x_j e x_i representam o valor da série correspondente aos anos j e i respectivamente. O valor absoluto de β indica é o equivalente à mediana de todos os possíveis pares consecutivos de dados, indicando a declividade da tendência na série. Enquanto sinal positivo, indica aumento e negativo, decréscimo.

3.6 AGROPECUÁRIA CATARINENSE

Os dados da produção agropecuária catarinense foram obtidos através do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) (<https://sidra.ibge.gov.br/home/>) da plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O SIDRA fornece os dados anuais de 2002 a 2017 sobre a realidade agrária brasileira. Santa Catarina está entre os dez estados mais importantes na produção agropecuária brasileira. Esse destaque se deve, em grande parte, ao alto valor agregado pelas atividades intensivas desenvolvidas, como a agricultura e a produção animal (IBGE, 2017).

Com a expansão da movimentação no mercado, agricultores aumentaram suas economias em 15% na cotação dos valores brutos de produção. Este crescimento no capital impacta diretamente no crescimento de áreas para a produtividade, um montante de 16%, significando mais de 200 mil hectares de novas áreas incorporadas à produção de 2010 a 2014 (EPAGRI/CEPA, 2018).

Com a finalidade de analisar a influência do setor agropecuário e os respectivos manejos que interfiram nos eventos de queimadas em SC, foi realizada correlação de *Spearman* nos três subprodutos do SIDRA: Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), Pesquisa da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) e a Produção Agrícola Municipal (PAM). Todos estes subprodutos possuem anualmente seus dados distribuídos para cada município brasileiro.

Para Santa Catarina em relação ao PPM foram considerados o efetivo de rebanhos (cabeças) para os tipos: bovinos, bubalinos, equinos, caprinos e ovinos como os de

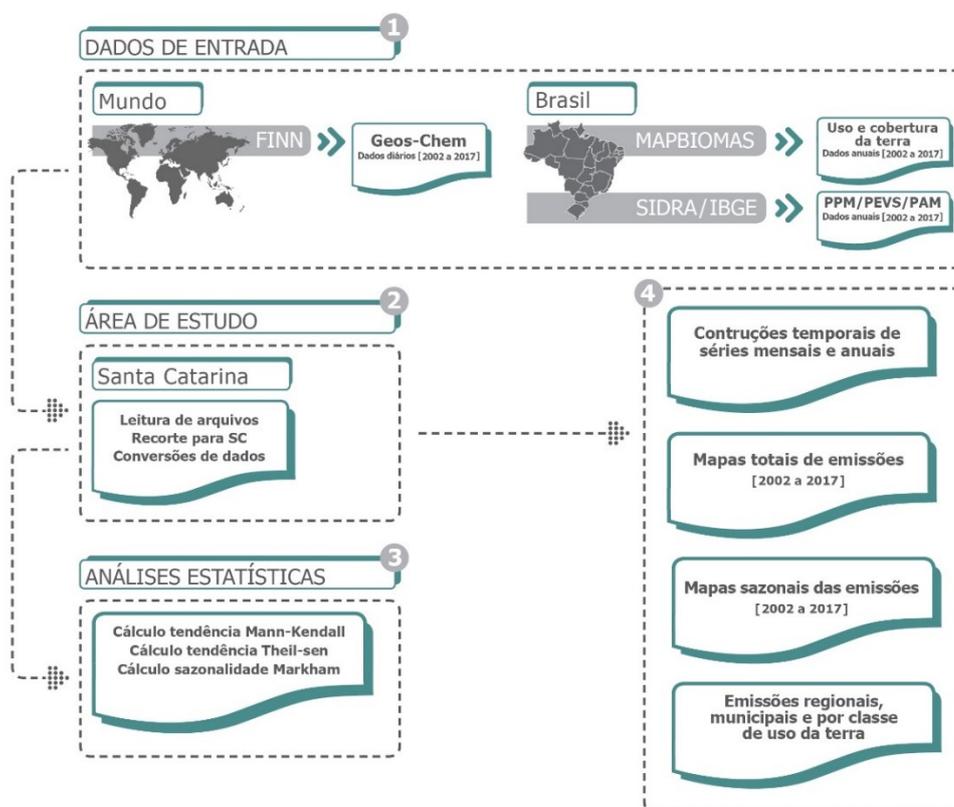
rebanho extensivo. Galináceos (total), codornas e suínos (total) como os de rebanhos confinados.

Em relação ao PEVS, este, dispõe informações sobre quantidade e valor dos principais produtos obtidos através do processo de exploração dos recursos florestais nativos, denominado extrativismo vegetal, bem como, a quantidade dos principais produtos da silvicultura, provenientes da exploração de maciços florestais plantados. Neste trabalho, foram considerados os produtos: alimentícios, aromáticos, borrachas, ceras, fibras, gomas não elásticas, carvão vegetal extrativismo, carvão vegetal silvicultura, oleaginoso e tanantes, tendo como a unidade de produção em toneladas. Pinheiro brasileiro (nó de pinho), pinheiro brasileiro (nó de pinho) e lenha, madeira em tora com unidades em metros cúbicos.

A PAM, fornece informações estatísticas sobre quantidade produzida, área plantada e colhida, rendimento médio e valor da produção agrícola. Sendo aqui considerados as áreas plantadas de lavouras temporárias e permanentes em hectares. As temporárias são correspondidas pelas plantações de: abacaxi, algodão, alho, amendoim, arroz, aveia, batata doce, batata inglesa, cana, cebola, centeio, cevada, ervilha, feijão, fumo, girassol, mandioca, melancia, melão, milho, soja, tomate, trigo e triticales. O grupo das permanentes é representada por: abacate, azeitona, banana, caqui, erva mate, figo, goiaba, laranja, limão, maçã, mamão, maracujá, noz, palmito, pera, pêssigo, tangerina e uva.

Sendo assim, os processos metodológicos consistidos no trabalho, está distribuído em quatro fases: i) aquisição de dados de entrada (FINN, MapBiomias, SIDRA/IBGE), ii) processamento de dados, iii) análises de sazonalidade, tendências e comparações com dados de chuva, iv) análise das emissões. Tais etapas estão apresentadas no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma das etapas metodológicas empregadas para a análise dos padrões espaciais e temporais das queimadas em Santa Catarina.



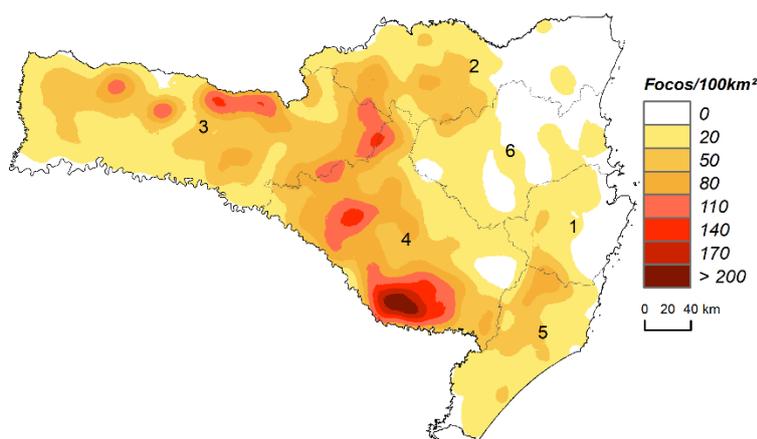
4 RESULTADOS

Os resultados encontrados após a aplicação das etapas metodológicas descritas no capítulo anterior são apresentados e discutidos neste capítulo.

4.1 PADRÕES ESPACIAIS DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA

A distribuição espacial dos focos de calor entre os anos de 2002 a 2017 em Santa Catarina está disposta na Figura 8. Na mesorregião Serrana (4) e Oeste (3) observa-se as maiores manchas de focos, representadas pela cor vermelha. Estas regiões são compostas pelas maiores altitudes do Estado (Figura 3). Em relação as classes de uso da terra (Figura 5), Serrana tem as maiores proporções de Formação Campestre e Reflorestamento em relações as áreas das demais mesorregiões. No Oeste, a Agricultura e o Past.+Agricult. são as classes de maior ocupação de área. Quanto ao Norte, a Floresta tem a maior proporção da área da mesorregião. No Sul Catarinense (5), manchas significativas de focos também são observadas. Sua área se destaca pelas concentrações de Pastagem e Past.+Agricult. Em menores proporções de ocorrências de focos, estão as mesorregiões do Vale do Itajaí e Grande Florianópolis.

Figura 8 – Densidade dos focos de calor entre os anos de 2002 e 2017. Grande Florianópolis (1). Norte Catarinense (2). Oeste Catarinense (3). Serrana (4). Sul Catarinense (5). Vale do Itajaí (6).



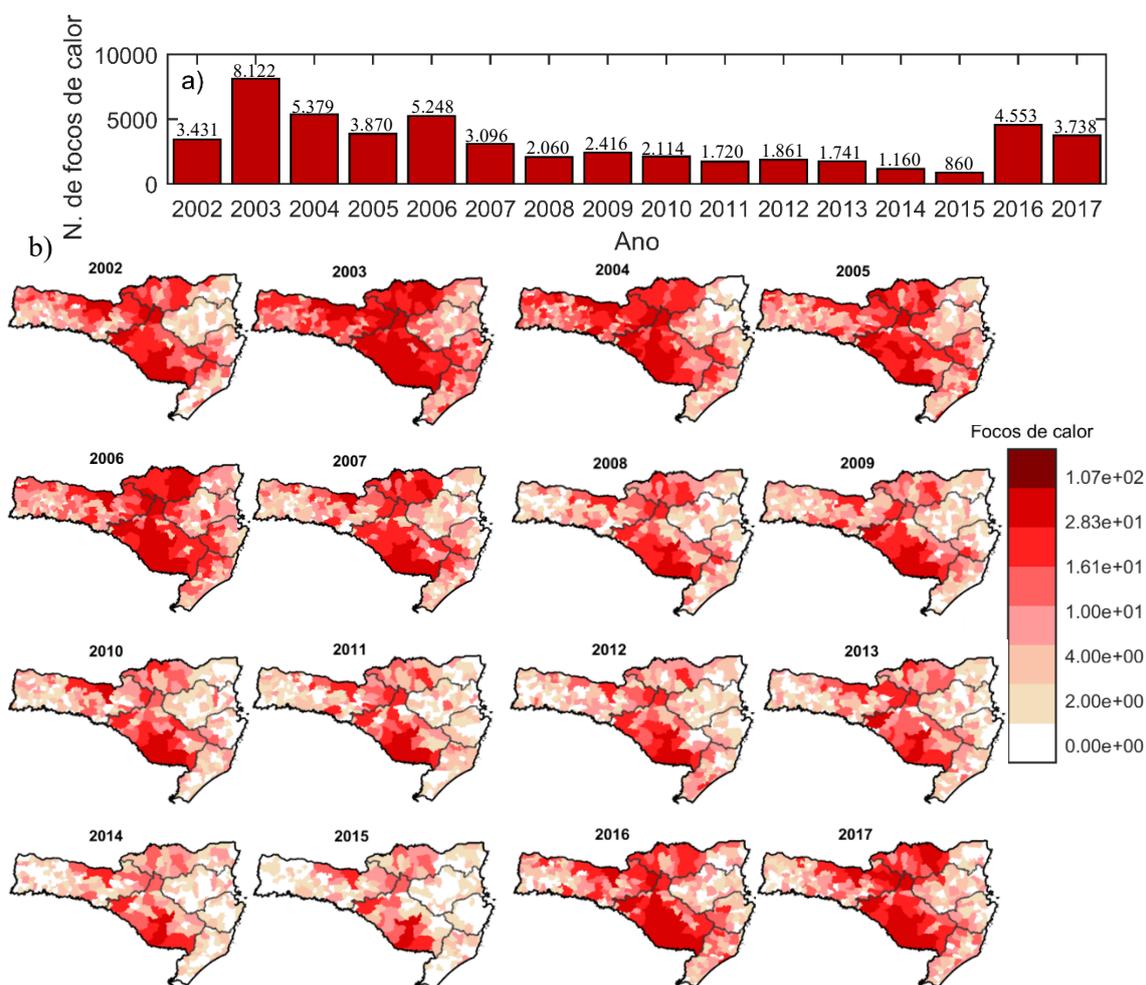
A variação interanual dos focos de calor nos municípios catarinenses está representada na Figura 9.

A Figura 9a demonstra uma clara redução no número de focos de calor de 2006 a 2015. Esse perfil também foi observado para todo o território nacional, conforme relatado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020). Essa tendência também foi observada na Amazônia Legal Brasileira (DE OLIVEIRA ANDRADE, 2019; ESCOBAR, 2019) e em outros estados brasileiros (FANIN; VAN DER WERF, 2015). Em 2016, nota-se um aumento abrupto (430% em relação ao ano de 2015) no número de focos de calor em Santa Catarina, diferentemente do país como um todo, onde os incêndios diminuíram em 15% para o mesmo período (INPE, 2020). No mesmo período, SC teve quase 900 hectares de áreas desmatadas, o maior registro de desmate nos últimos 10 anos (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2017).

Pode-se observar na Figura 9b a espacialização anual dos focos de calor nos municípios catarinenses. As cidades da mesorregião Serrana são as mais afetadas pelos incêndios. Mesmo com uma importante queda de 2006 a 2015, as cidades Serranas ainda apresentam mais de 107 focos de calor por ano. As tendências

A distribuição anual dos focos de calor entre 2002 a 2017 para cada município catarinense está disposta no Apêndice A.

Figura 9 – Distribuição anual dos números de focos de calor, a) em Santa Catarina, b) nos municípios catarinenses, entre os anos de 2002 e 2017.

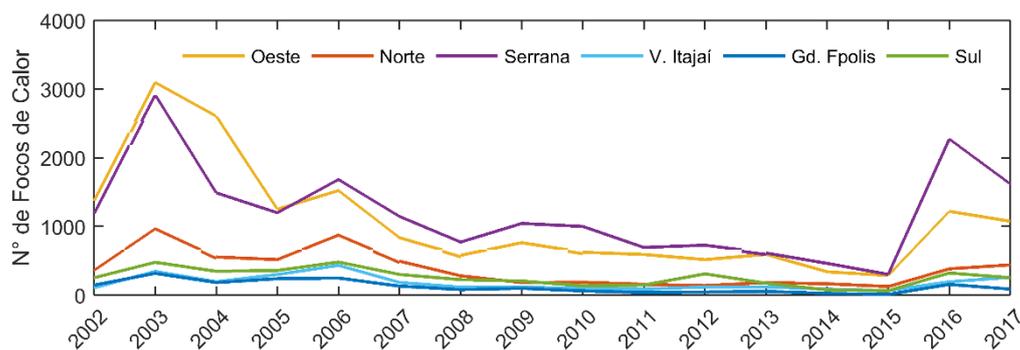


A disposição dos focos de calor entre os anos das mesorregiões é exibida na Figura 10. Dentre os anos avaliados neste estudo, Serrana e Oeste Catarinense, foram responsáveis de 61 a 77% dos focos de calor anuais em Santa Catarina, tendo como pico em 2003. No Norte e Gd. Fpolis as suas maiores incidências de queimadas também aconteceram em 2003, com 966 e 318 focos respectivamente. Para as mesorregiões Vale do Itajaí e Sul os anos com os maiores registros foi o de 2006, 434 e 482 registros de focos de calor. Enquanto que de 2006 (5.248) para 2015 (860) o estado de Santa Catarina reduziu em 84% o número de focos de calor, de 2015 para 2016 (4.553) o aumento foi de 430%.

Em todas as mesorregiões o perfil da distribuição de focos ao longo dos anos foi semelhante ao do estado. A maior redução de 2006 a 2015 entre as mesorregiões

aconteceu na Gd. Fpolis, 95%, enquanto que a Serrana, responsável pelos maiores registros, reduziu em 81%. Foi também na Gd. Fpolis o maior percentual de aumento entre 2015 para 2016, 12 para 157 focos, o que corresponde um acréscimo de 1209%, contra 325% de aumento na Serrana. Os dados dos focos de calor de 2002 a 2017 para todas as regiões é apresentado no Apêndice B.

Figura 10 – Focos de calor nas mesorregiões catarinenses entre os anos de 2002 a 2017.



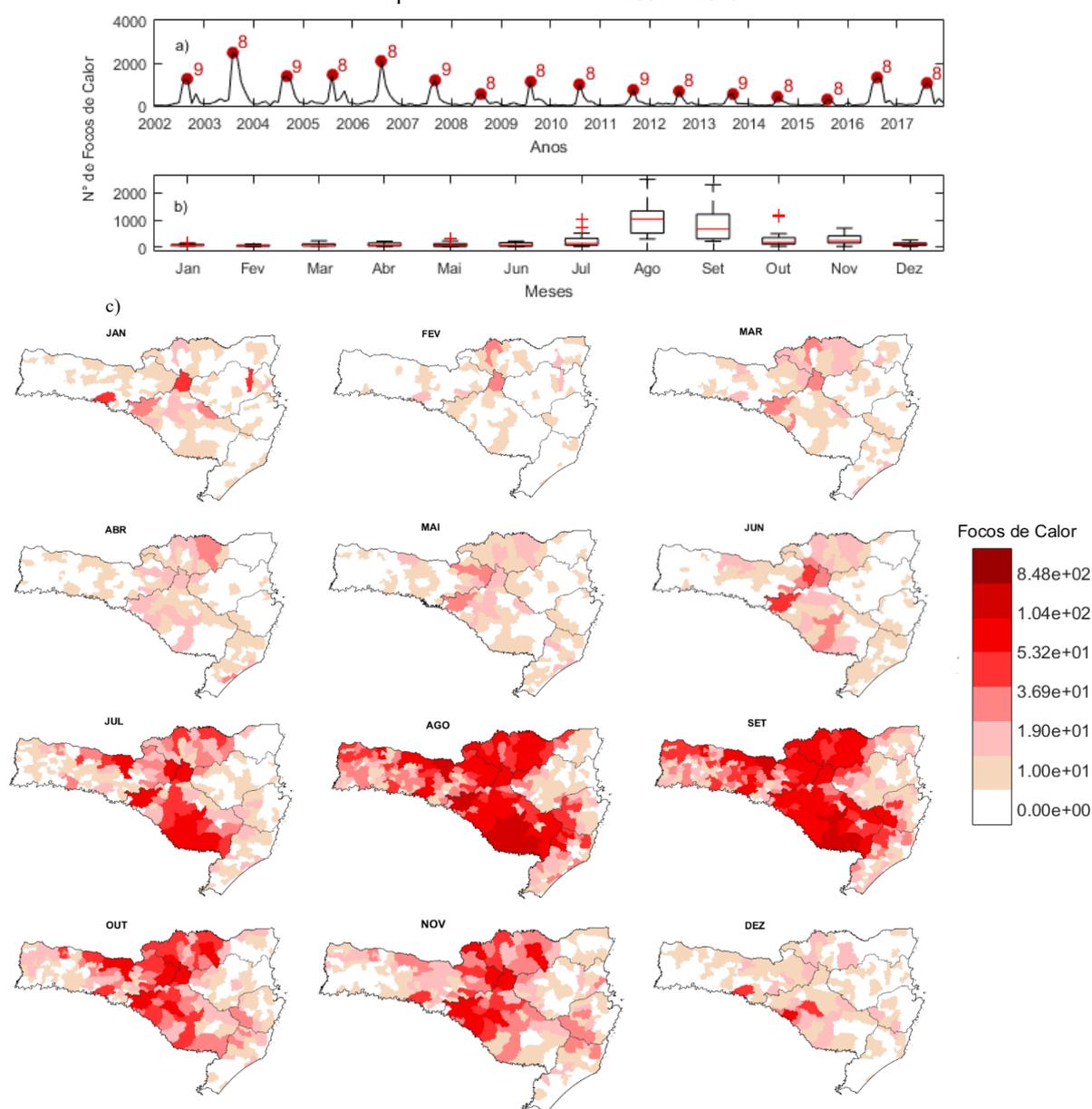
4.2 SAZONALIDADE DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA

A variabilidade intra-anual de focos de calor equivalentes a série de 2002 a 2017 em Santa Catarina é apresentada na Figura 11. Apesar da redução dos focos de calor entre os anos, de 2006 e 2015, e do crescimento abrupto de 2016, os meses de agosto (8) e setembro (9) protagonizaram entre as ocorrências mensais dos focos em SC (Figura 11a). Observa-se uma distribuição unimodal dominante em SC ao longo dos meses (Figura 11b), onde as maiores distribuições das queimadas acontecem entre julho e novembro. Apesar do clima variável nas regiões do Brasil, a sazonalidade dos focos de calor, possuem uma variabilidade semelhante à de Santa Catarina (CAÚLA et al., 2015; INPE, 2020).

Na Figura 11c tem-se a consolidação dos focos mensais de 2002 a 2017 para cada município catarinense. A sazonalidade das manchas de incêndio pode ser mais proeminente em algumas cidades, em função das atividades econômicas, clima, relevo, uso da terra, práticas de manejo do solo e aspectos culturais. Surto de áreas queimadas tem decorrido no Brasil, intencionadas por secas severas, uso indiscriminado do fogo e anomalias positivas de temperatura (RIBEIRO et al., 2018; SILVA JUNIOR et al., 2019). Com um benefício das condições meteorológicas favoráveis para o uso do fogo,

é comum que, agricultores e fazendeiros utilizem da queimada como uma ferramenta no manejo das terras agrícolas e das pastagens, além de abertura de novas áreas para o uso (ARAGÃO et al., 2018; CERRI et al., 2018; TORRES et al., 2018; DOS SANTOS et al., 2019).

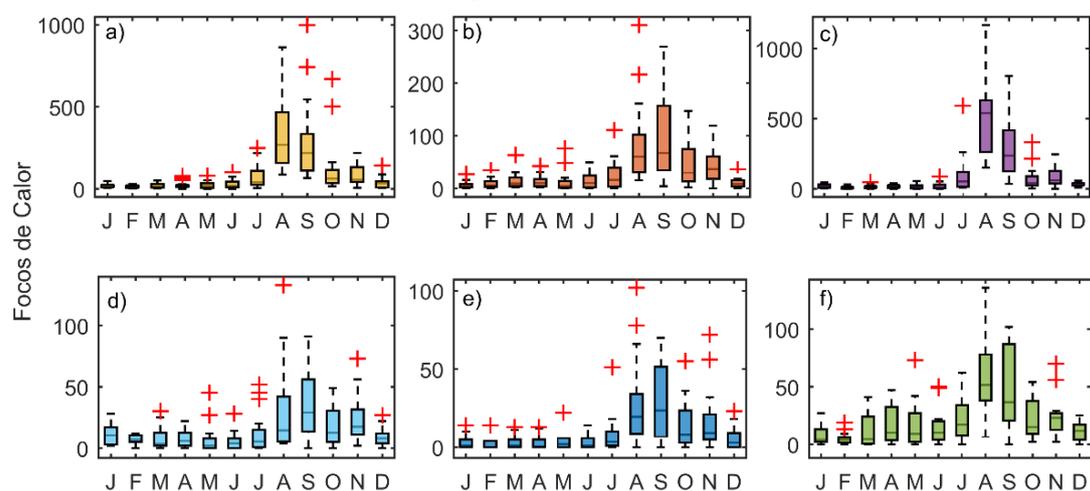
Figura 11 – Distribuição mensal dos focos de calor, a) em Santa Catarina (destaca-se o mês de maior ocorrência de focos para cada ano da série), b) acumulados entre os anos de 2002 e 2017, c) acumulado nos municípios catarinenses entre 2002 e 2017.



A Figura 12 apresenta a distribuição mensal dos focos de calor entre as mesorregiões de Santa Catarina. Todas as mesorregiões tendem a ter uma distribuição

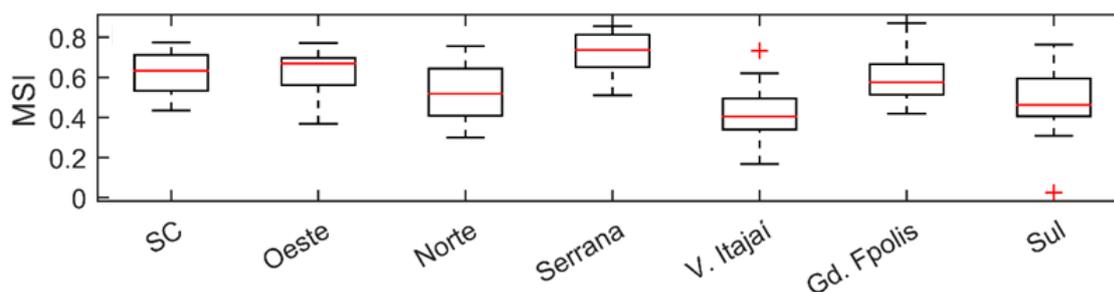
unimodal dos focos ao longo dos meses. Serrana (c), Oeste (a) e Sul Catarinense (f) possuem suas maiores medianas no mês de agosto para as queimadas. Cerca de 45% dos focos anuais da Serrana acontece em agosto, 31% no Oeste e 21% no Sul Catarinense. No Norte Catarinense (b), Vale do Itajaí (d) e Grande Florianópolis (e) as maiores medianas mensais ocorreram em setembro, sendo responsável por respectivamente, 21%, 17 % e 21% dos focos registrados no referido mês. De modo geral, grande parte dos focos são concentrados entre o inverno (junho, julho e agosto) e a primavera (setembro, outubro, novembro). A frequência de incêndios tende a ser menor no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e no outono (março, abril e maio).

Figura 12 - Distribuição mensal dos focos de calor entre os anos de 2002 e 2017 nas mesorregiões catarinenses: a) Oeste Catarinense, b) Norte Catarinense, c) Serrana, d) Vale do Itajaí, e) Grande Florianópolis, f) Sul Catarinense.



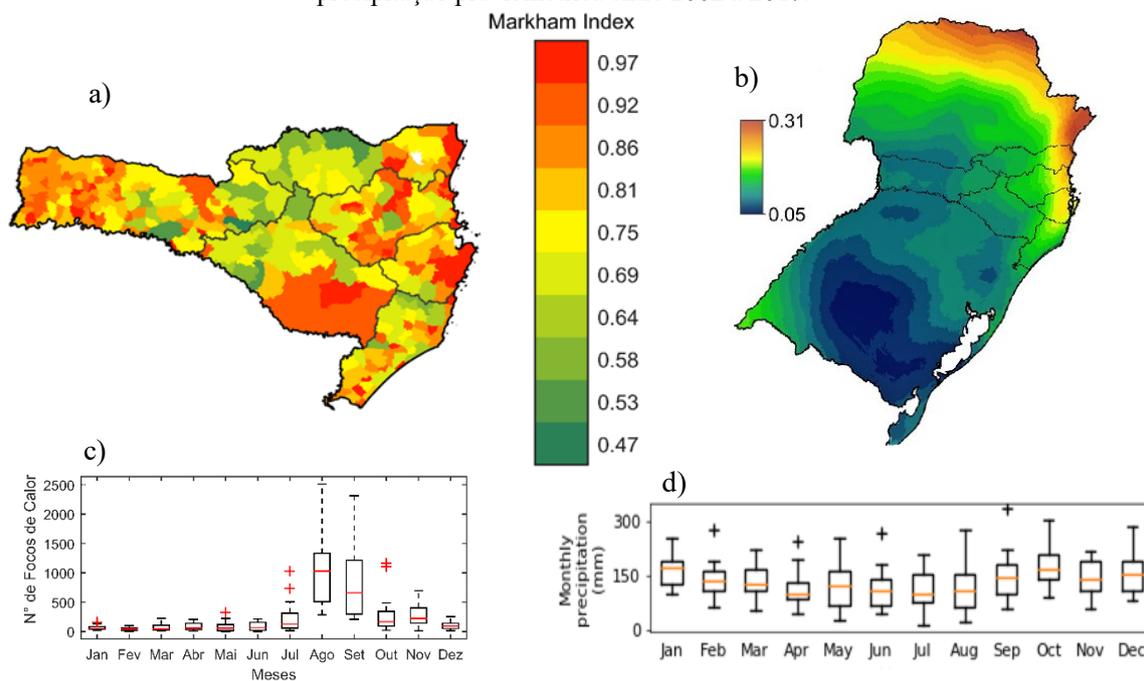
O índice de sazonalidade de Markham (MSI) para as mesorregiões catarinenses é apresentado na Figura 13. Quanto mais próximo do valor 1, maior é a concentração dos dados em um único mês. Todas as mesorregiões apresentaram teores perceptíveis para a sazonalidade ($> 0,2$), as medianas dos índices de sazonalidade entre as mesorregiões variaram de 0,40 no Vale do Itajaí, a 0,78 na Serrana, comprovando a premissa apresentada na figura anterior. Apesar de ser um cálculo mais comum em estudos da hidrologia (STAAL et al., 2016; CHAGAS; CHAFFE, 2018) outros autores já relacionaram o MSI com registros de fogo obtendo relações positivas (VAN NES et al., 2018; BERNARDI et al., 2019a; MAGADZIRE et al., 2019).

Figura 13 – Boxplot do Índice de Sazonalidade de Markham das mesorregiões e catarinenses entre os anos de 2002 e 2017.



O índice de sazonalidade foi aplicado para todos os municípios de SC. A Figura 14a apresenta a média em escala municipal do MSI entre 2002 a 2017 para cada cidade. Todos os 292 municípios com registros de queimadas apresentaram possuir sazonalidade para as ocorrências de queimadas. Enquanto que os focos de calor apresentaram uma sazonalidade entre os municípios, por outro lado, o regime de chuva em SC apresentou ser definido por um regime de precipitação uniformemente distribuída (CHAGAS; CHAFFE, 2018). Os diagramas de caixa das Figuras 14c e 14d apresentam as distribuições de chuva e focos de calor ao longo dos meses em SC, é perceptível a diferença entre as magnitudes das curvas dos diagramas.

Figura 14 – Índice de sazonalidade de Markham, a) dos focos de calor, b) da precipitação pluviométrica, adaptado de CHAGAS; CHAFFE (2018), c) variação mensal dos focos de calor, d) variação mensal da precipitação pluviométrica entre 2002 a 2017.

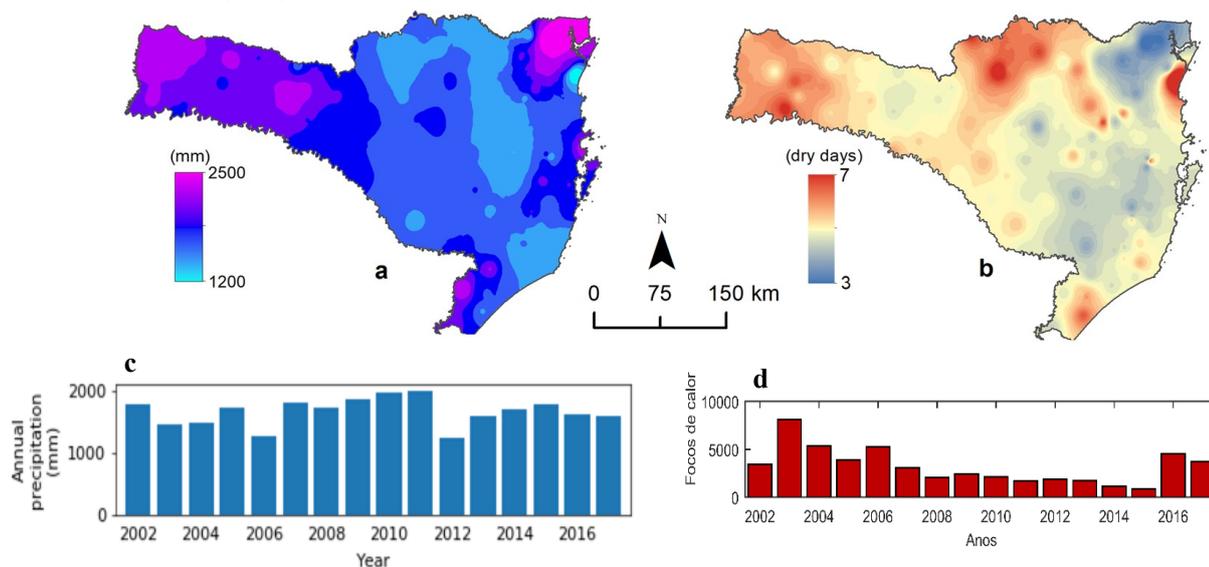


Quanto a distribuição espacial, a ocorrência de manchas de focos de calor está parcialmente especializada com os valores mais baixos de precipitação anual (Figura 15a) e, assim como, as áreas de maior número de dias secos no ano (Figura 15b). As maiores médias anuais de precipitação em Santa Catarina cobrem boa parte da mesorregião Oeste e o litoral catarinense. As distribuições anuais das queimadas e da precipitação média em SC entre 2002 a 2017 não apresentaram ter variações semelhantes. Apesar das variáveis estarem conectadas no espaço, não necessariamente estão conectados no tempo.

Flannigan e Harrington (1988) concluíram que a ocorrência entre os meses com os maiores registros de queimadas não dependia exclusivamente da quantidade de precipitação. Estes e outros autores indicam a frequência de precipitação, temperatura, velocidade e direção do vento e umidade relativa como os importantes fatores meteorológicos nos meses de risco de incêndio (FLANNIGAN; HARRINGTON, 1988; JOLLY et al., 2015; VITOLLO et al., 2019). De acordo com Vitolo et al. (2019), a baixa umidade do ar combinada com altas temperaturas tende a deixar a biomassa mais seca, favorecendo a ignição do fogo. Além disso, a variação na direção do vento, espalha o

fogo para áreas maiores. Neste trabalho, não foram analisados parâmetros meteorológicos como vento, temperatura, umidade relativa e radiação solar.

Figura 15 - a) Precipitação média anual entre 2002 e 2017, b) Média de dias de números secos consecutivos, considerando um evento seco medidas abaixo de 0,5mm, c) Distribuição anual da precipitação média, e d) Distribuição anual dos focos de calor entre 2002 e 2017.



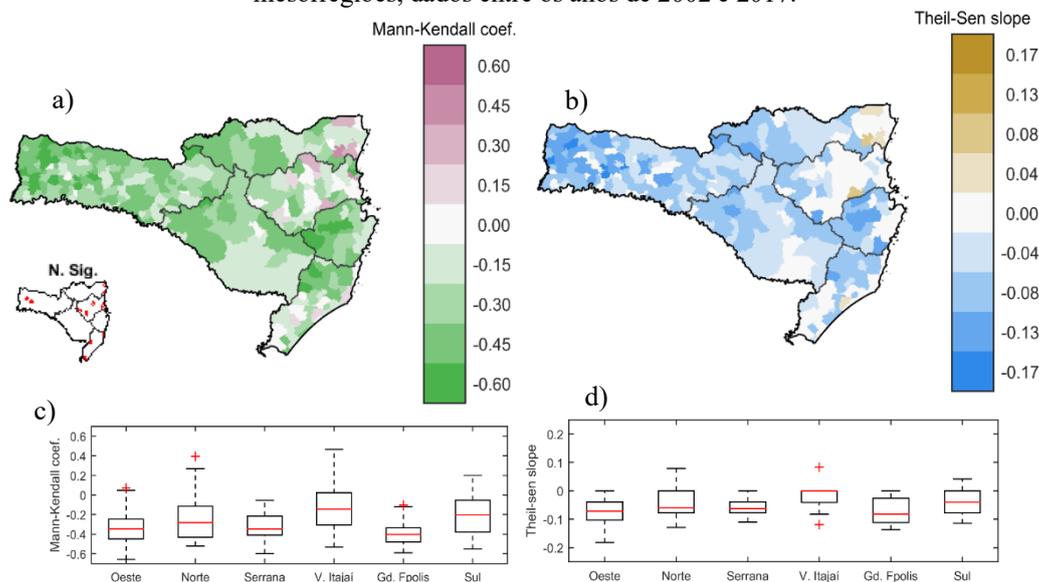
4.3 AVALIAÇÃO DAS TENDÊNCIAS DAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA

As tendências temporais dos focos de calor de 2002 a 2017 foram calculadas através do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), adotando um nível de significância de α de 0,05. Entre os 292 municípios com focos registrados neste período, 12 não foram significantes para o índice de tendência. Aproximadamente 90% das cidades apresentaram tendência negativa (Figura 16a), onde, tons de verde indicam um índice com decréscimo dos focos na série, enquanto que as colorações roxas representam tendências positivas. Apenas 29 municípios possuem tendência de crescimento, dispostos entre as mesorregiões Norte, Vale do Itajaí e Sul Catarinense. Apesar de alguns municípios apresentarem resultados para aumento de queimadas, a mediana de todas mesorregiões catarinenses mostraram uma tendência na redução de queimadas (Figura 16b).

Além do Mann-Kendall, o método estimador de declive de Theil-Sen (TS) também possibilita identificar se houve, ou não, mudança na tendência em séries de

dados ambientais. Afim de verificar comportamento dos focos ao longo dos anos, o Thiel-Sen foi aplicado para todos as cidades de Santa Catarina (Figuras 16c e 16d).

Figura 16 - a) Coeficiente de Mann-Kendall a nível municipal, b) Coeficiente de Theil-Sen a nível municipal, c) Coeficiente de Mann-Kendall entre as mesorregiões, d) Coeficiente de Theil-Sen entre as mesorregiões, dados entre os anos de 2002 e 2017.



Os resultados foram semelhantes ao apresentado pelo índice de Mann-Kendall, tanto nos municípios quanto nas mesorregiões em relação a tendência de acréscimo ou decréscimo nas ocorrências de queimadas.

Apesar do declínio global das tendências das queimadas (FERREIRA et al., 2020), crescimento de focos de calor em áreas do bioma da Mata Atlântica (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020), Cerrado (MATAVELI et al., 2019) e Amazônia (DA SILVA JÚNIOR et al., 2019) foram identificados nos últimos anos, sendo estes relacionados por períodos longos de seca e atividades antropogênicas, baseadas na agricultura extensiva heterogêneas. Áreas onde existe poucas mudanças de cobertura e uso da terra não apresentam variações ou tendências crescente, enquanto as áreas recentemente convertidas para coberturas não naturais apresentaram tendências positivas para as queimadas (MATAVELI et al., 2019). Andela et al. (2017) explica que o declínio nas emissões globais associados às queimadas estão além da fragmentação da paisagem, o aumento da densidade populacional e queimadas de pequeno porte são mais difíceis de serem detectadas. Assim, padrões distintos podem ser capazes de influenciar nas tendências das queimadas (ANDELA et al., 2017).

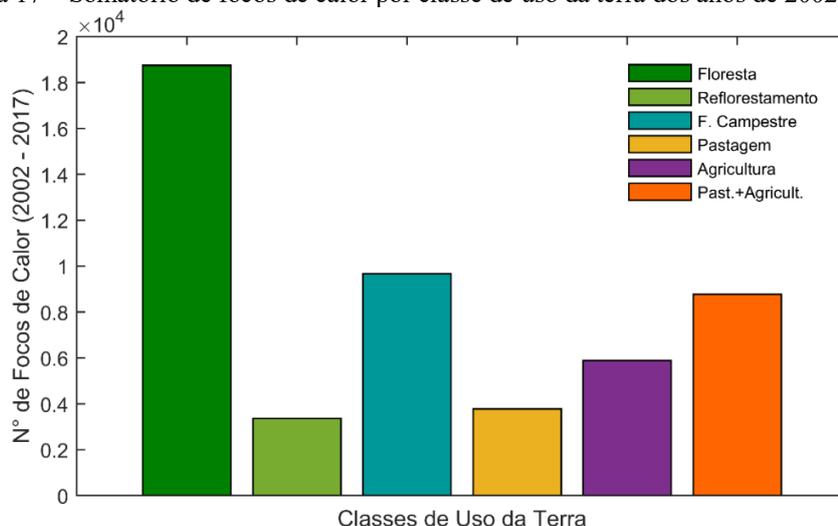
4.4 RELAÇÃO ENTRE O USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E AS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA

Após as análises da distribuição espacial e das tendências dos focos de calor em Santa Catarina, foi buscado quais fatores podem estar ligados com essas distribuições no espaço e no tempo. Para a análise das causas associadas aos focos de calor adotamos, produtos com melhores resoluções espaciais tanto para a classe de uso da terra (MapBiomias) quanto para a os tipos de atividades presentes em cada classe (SIDRA/IBGE).

Uma avaliação dos números de pontos de incêndio segregados pelas classes de uso da terra é apresentada na Figura 17. Sendo a de maior classe de SC, a Floresta também foi a que mais obteve números de focos de calor, 18.748 (36,49%), distribuídos de 2002 a 2017.

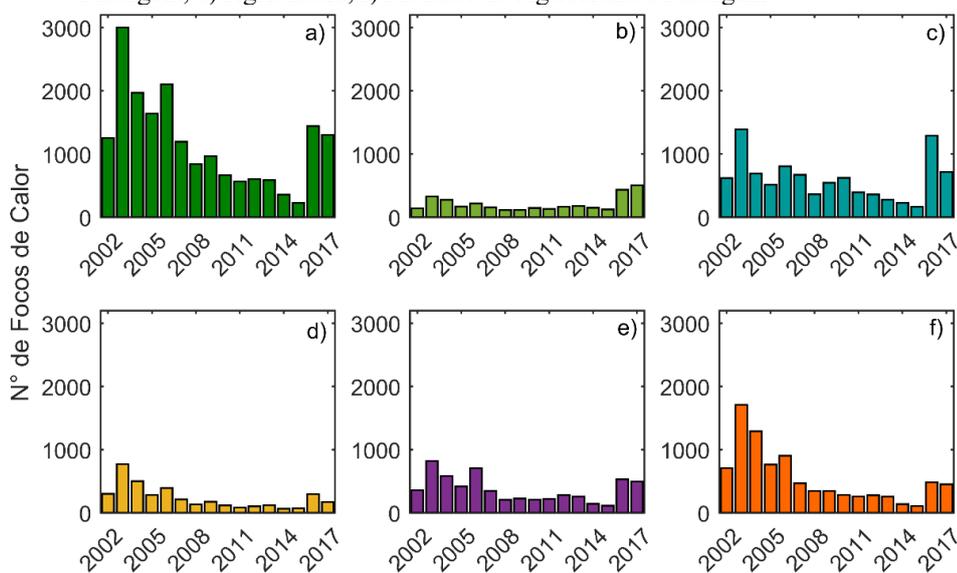
Com quase toda sua extensão territorial concentrada na mesorregião Serrana, a Formação Campestre (SEVEGNANI; SCHROEDER, 2013), conteve 9.670 (18,82%) focos. Mosaico da Pastagem e Agricultura 8.773 (17,07%), Agricultura 5.887 (11,46%), Pastagem 3.779 (7,35%) e Reflorestamento 3.361 (6,54%) foram outras importantes classes com ocorrências de incêndios. Classes de uso da terra com registros menores que 1,5% do total de focos não foram considerados.

Figura 17 – Somatório de focos de calor por classe de uso da terra dos anos de 2002 a 2017.



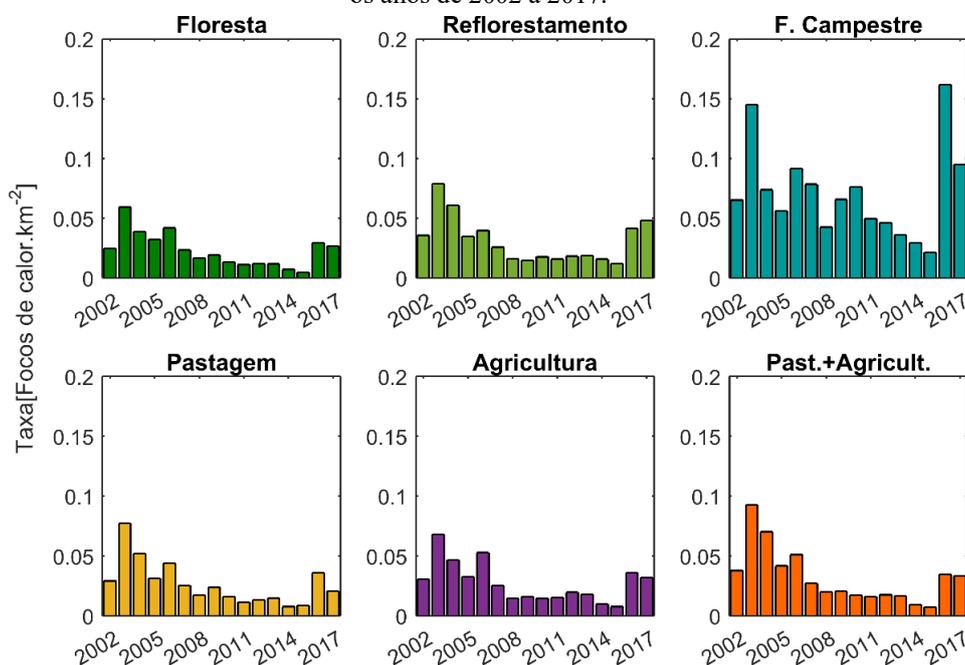
Quanto a variação das queimadas por classe de uso da terra, todas tiveram uma distribuição semelhante dentro da série de 2002 a 2017 (Figura 18). Os picos dos registros de focos se encontram em 2003, uma redução é visível até 2006 a 2015, bem como o crescimento bruto em 2016. Entre os anos de 2016 a 2017 apenas no Reflorestamento ocorreu um aumento do número de focos de calor.

Figura 18 – Número de focos de calor em seus respectivos usos da terra ao longo dos anos distribuídos anualmente entre 2002 e 2017, a) Floresta, b) Reflorestamento, c) Formação Campestre, d) Pastagem, e) Agricultura, f) Mosaico de Agricultura e Pastagem.



Uma relação entre focos de calor e área, Figura 19, foi realizada afim de identificar a densidade de ocorrências das queimadas, visto que, as classes possuem dimensões e variações de suas áreas anuais.

Figura 19 – Distribuição das ocorrências de focos de calor pela área de cada classe de uso da terra entre os anos de 2002 a 2017.

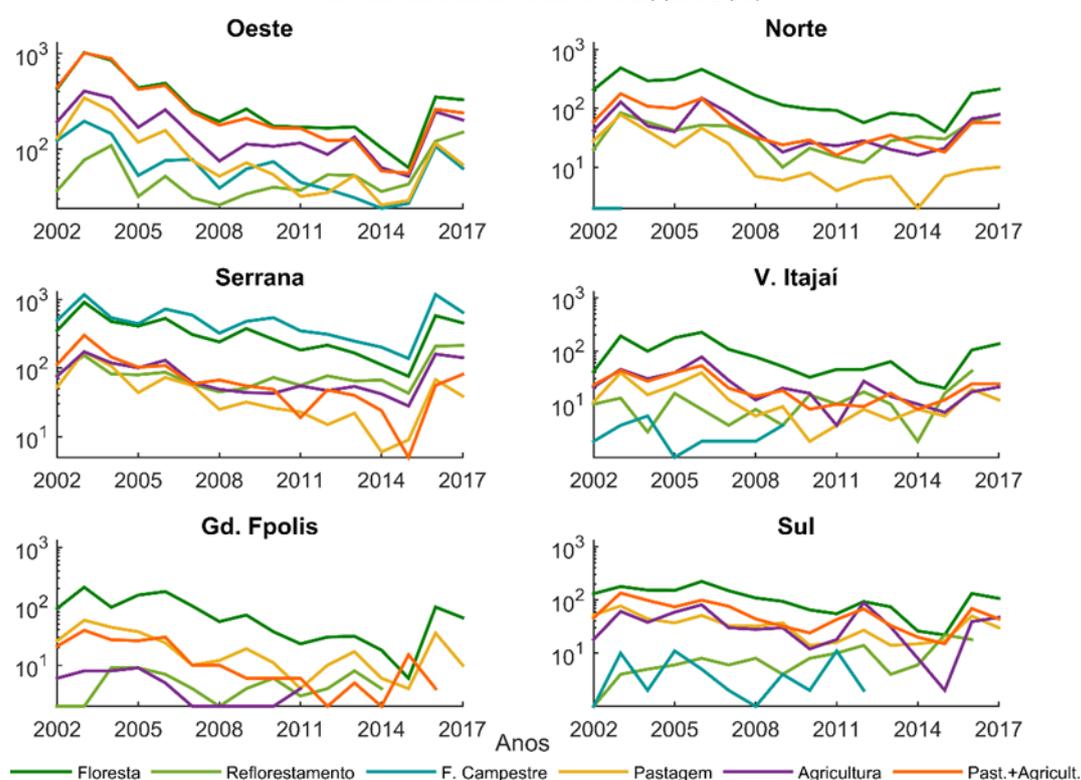


Ao longo dos anos as taxas tiveram um perfil semelhante com as distribuições gerais dos focos apresentado anteriormente. As maiores densidades anuais de focos de calor estão distribuídas na Formação Campestre, com uma mediana de 0,065 de focos de calor por km², enquanto que, Florestas possuem 0,0233 focos por km² de mediana. A Formação Campestre, também encontrada na literatura como Campos Sulinos ou Estepe, é conhecida pelas influências das atividades humanas. A remoção de áreas nativas sede espaço para a agricultura, pastoreio e plantio de *Pinus* e *Eucalyptus* (Reflorestamento) na região (PILLAR et al., 2009; SEVEGNANI; SCHROEDER, 2013). As mudanças no uso da terra e o fogo acabam impedindo a regeneração natural da floresta nos biomas como a Mata Atlântica (BERNARDI et al., 2019b; DOS SANTOS et al., 2019).

Uma análise das ocorrências dos focos de calor para cada classe de uso da terra e por mesorregião é apresentada na Figura 20. A Floresta aparece como classe de uso da terra com o maior número de focos de calor de 2002 a 2017 para todas as mesorregiões. Por ser uma classe predominante em SC, a probabilidade de ocorrência de incêndio na Floresta é maior. Em todas as mesorregiões de SC, entre 2004 e 2015 foi observada uma redução das queimadas nas Florestas. A mesma tendência é observada na Agricultura,

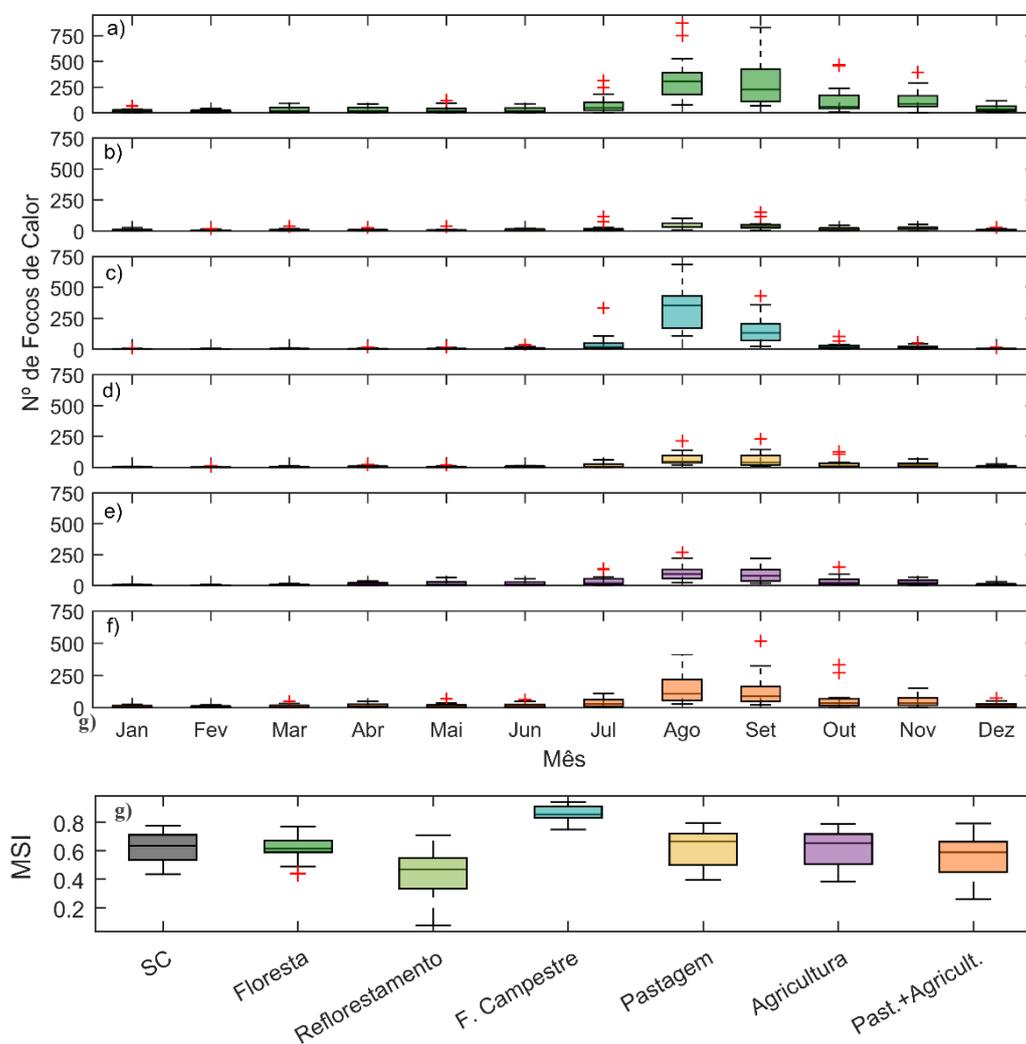
Pastagem e no Mosaico de Agricultura ou Pastagem, em maiores magnitudes no Oeste, Norte, Serrana e Sul. Na Serrana, a região com o maior número de registros de queimadas, as queimadas ocorrem com maior frequência na classe Formação Campestre. Essa região é conhecida como a mais importante produtora de carne e madeira em SC, respondendo por 38% (cerca de 91 milhões de m³ de madeira em 2018) da produção estadual (ACR, 2019; EPAGRI/CEPA, 2018). Outra importante atividade que se destaca na região é o aumento de participação nas áreas de lavouras temporárias plantada, principalmente no cultivo de soja e milho (EPAGRI, 2018).

Figura 20 – Distribuição anual dos focos de calor entre as mesorregiões catarinenses para cada tipo de uso da terra entre os anos de 2002 e 2017.



Visto que os focos de calor nos municípios e mesorregiões de SC possuem fortes índices de sazonalidades. Uma investigação sobre a variabilidade intra-anual entre as classes de uso da terra foi realizada (Figura 21). Floresta (a), Formação Campestre (c), Pastagens (d), Agricultura (e) e Mosaico de Agricultura ou Pastagens (f), predominaram os eventos de incêndios entre os meses de agosto e setembro. No Reflorestamento (b), a distribuição dos focos foi mais homogênea entre os meses.

Figura 21 – Distribuição mensal dos focos de calor, a) Floresta, b) Reflorestamento, c) Formação Campestre, d) Pastagem, e) Agricultura, f) Mosaico de Agricultura ou Pastagem para os anos de 2002 a 2017. g) Sazonalidade das classes de uso da terra em Santa Catarina entre os anos de 2002 a 2017.

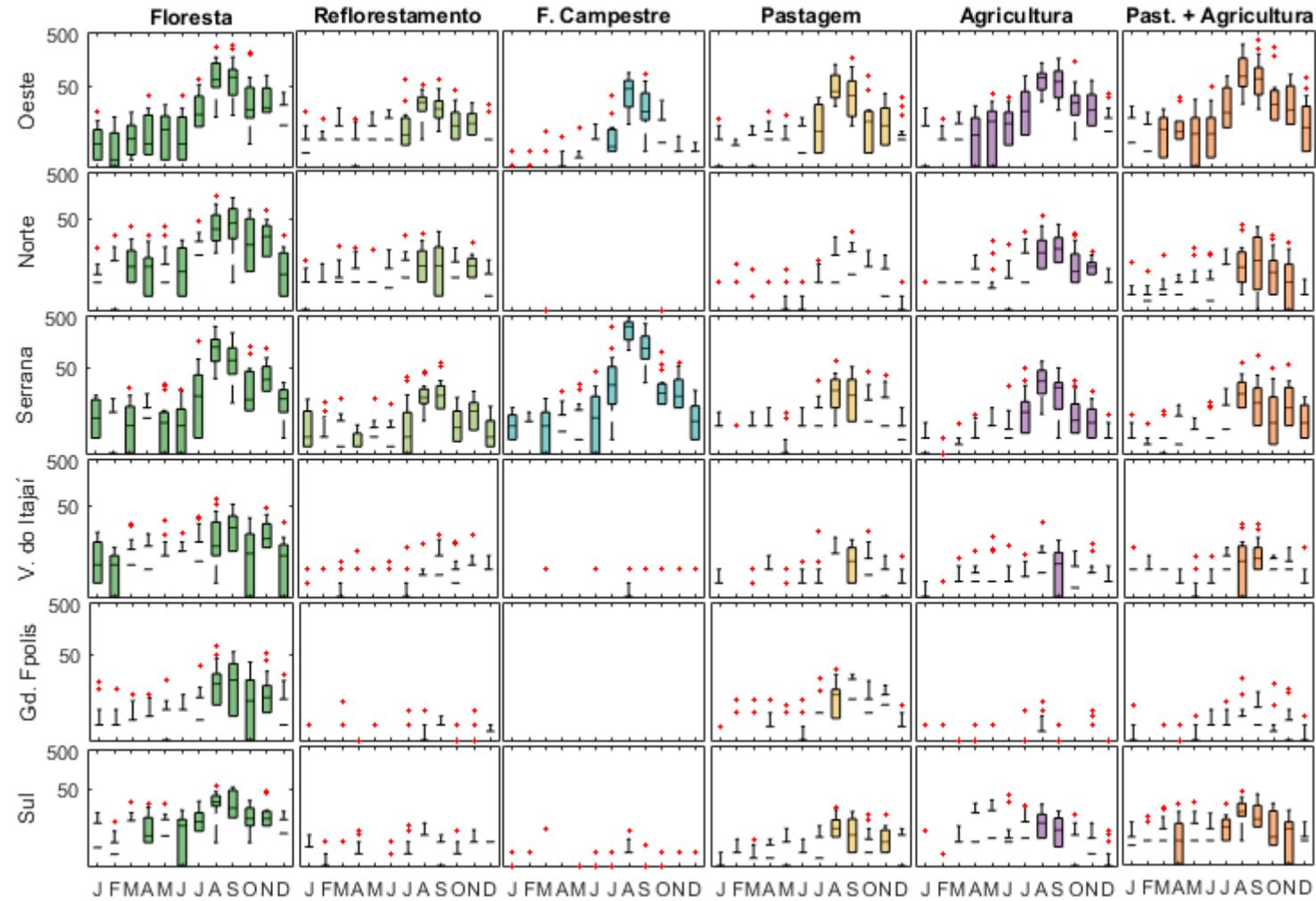


Tendo em vista que as ocorrências de focos de calor possuem magnitudes diferentes entre as mesorregiões em diversas classes de uso da terra, é apresentada na Figura 22 a distribuição mensal dos focos nestes setores.

No Oeste e Serrana, todos os tipos de uso da terra apresentaram significativa ocorrência de queimadas entre julho a setembro, tendo como o ápice dos registros em agosto. Em relação ao Norte Catarinense, as maiores frequências das queimadas na Floresta, Reflorestamento e Agricultura ocorreram em agosto. Por sua vez, o Mosaico de Agricultura ou Pastagem também possui uma importante magnitude de queima na região, entretanto a maior mediana mensal se encontra em setembro. No Vale do Itajaí e Grande Florianópolis as queimadas predominam em áreas Florestais no mês de

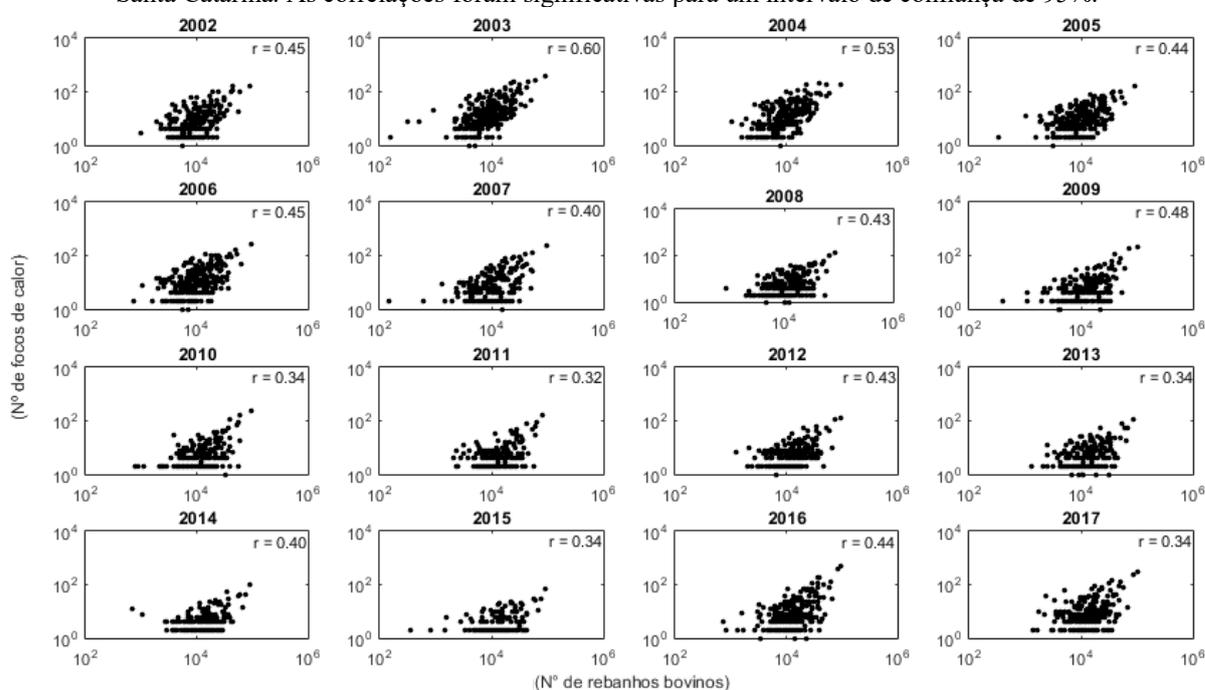
setembro. No Sul, as classes, Floresta, Pastagem, Agricultura e Past.+Agricult. possuem picos de queima em agosto.

Figura 22 – Distribuição mensal dos focos entre as mesorregiões catarinenses e classes de uso da terra entre os anos de 2002 a 2017.



Em SC as queimadas se concentram principalmente nas classes: Floresta, Formação Campestre, Reflorestamento, Agricultura, Pastagens e Past.+Agricult. Afim de explorar fatores associados às queimadas, uma abordagem mais específica foi realizada nas classes de uso da terra. Quando se trata de Pastagens por exemplo, estamos incluindo diversos tipos de rebanhos (e.g. bovinos, caprinos e suínos). No primeiro momento apresentamos uma série de correlações não paramétrica de *Spearman* entre o número de rebanhos bovinos e focos de calor a nível municipal (Figura 23).

Figura 23 – Correlação entre números de rebanhos bovinos (cabeças) e focos de calor entre 2002 e 2017 em Santa Catarina. As correlações foram significativas para um intervalo de confiança de 95%.

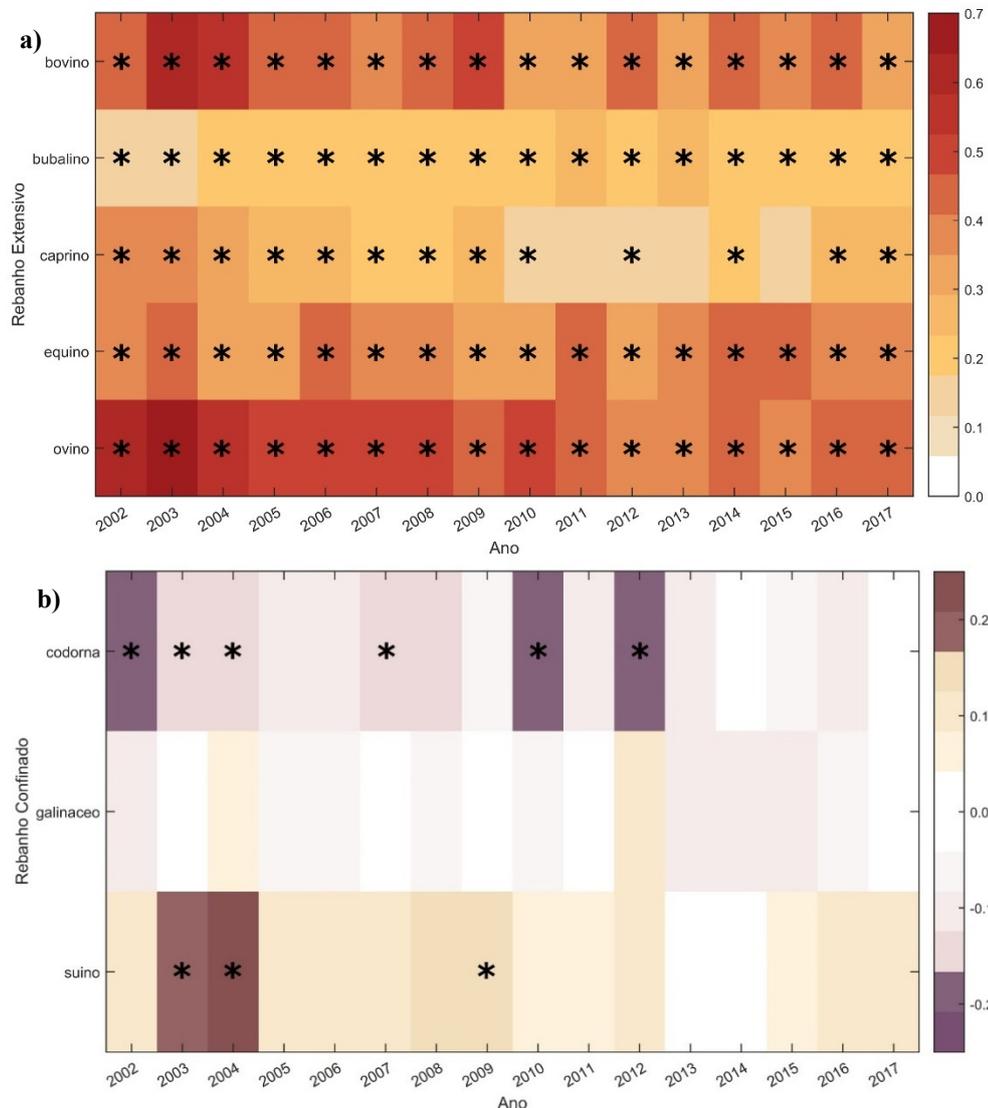


Observa-se que existe uma correlação positiva entre os municípios com detecção de focos de calor e número de rebanhos bovinos. As maiores correlações encontradas foram entre os anos de 2003 e 2004, correlações de 0,60 e 0,53 respectivamente. No mesmo período foram registrados os maiores focos de calor em Santa Catarina. Na Amazônia, uma relação da incidência de incêndios em terras já desmatadas, cobertas por pastagens ou em áreas de transições já foi observada (ARAGÃO et al., 2018). Com isso o aumento da criação de bovinos pode ser um importante fator para a ocorrência de queimadas em Santa Catarina.

O teste de correlação foi expandido para outros setores agropecuários, como: Produção da Pecuária Municipal (PPM), Produção Agrícola Municipal (PAM) e a Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS). Na Figura 24 temos a distribuição da correlação ao longo dos

anos no setor PPM, sendo este dividido em dois grupos, o de Rebanho Extensivo (bovinos, bubalinos, caprinos e ovinos) e Rebanho Confinado (codorna, galináceos e ovinos). Há uma diferença significativa das correlações entre os grupos do PPM. Rebanho Extensivo, Figura 24a, possuem maiores correlações com as queimadas. É possível observar na classe dos bovinos e ovinos correlações superiores a 0,6 com significância estatística de 95%. Bubalinos e caprinos demonstraram ter correlações mais fracas. No Rebanho Confinado (Figura 24b), poucos índices apresentaram significância estatística. Fracas correlações ($<0,2$) foi observado na classe dos suínos e fracas correlações negativas ($-0,2$) no rebanho de codornas entre 2002 a 2017.

Figura 24 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Produtos da Produção Pecuária Municipal, a) Rebanho Extensivo, b) Rebanho Confinado. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.

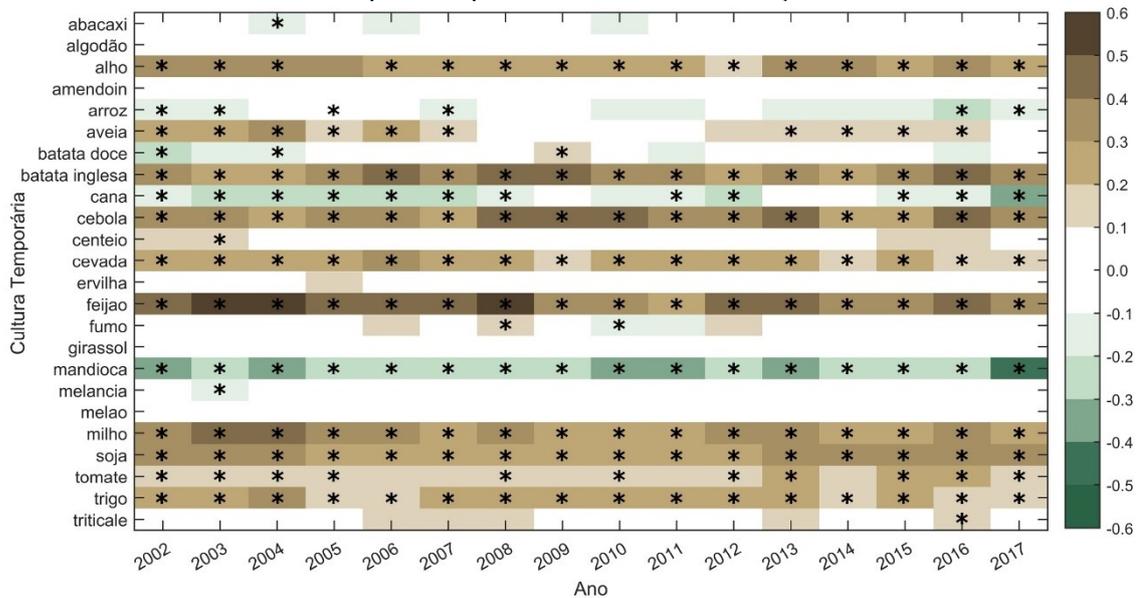


Em relação ao setor de Produção Agrícola Municipal (PAM), a correlação de foi realizada entre os focos de calor e a área plantada por cada tipo de cultura. Neste produto as divisões são feitas entre Culturas Temporárias e Permanentes. Nas Culturas Temporárias (Figura 25), as correlações foram positivas e significativas para todos os anos nos cultivos de: alho, batata inglesa, cebola, cevada, feijão, milho, soja e trigo. Esses produtos são os responsáveis pelas maiores áreas plantadas em Santa Catarina. Em contrapartida, no caso do cultivo do arroz, mesmo sendo o responsável pela quarta maior área de plantio em SC, poucas foram as correlações significativas, e estas foram negativas em relação às queimadas. Com um sistema de manejo singular dentre as demais atividades da agricultura, a umidade alta do solo

na qual o arroz se envolve (RAIMONDI; MARSCHALEK; NODARI, 2014), possa ser um importante fator pelos baixos registros de focos.

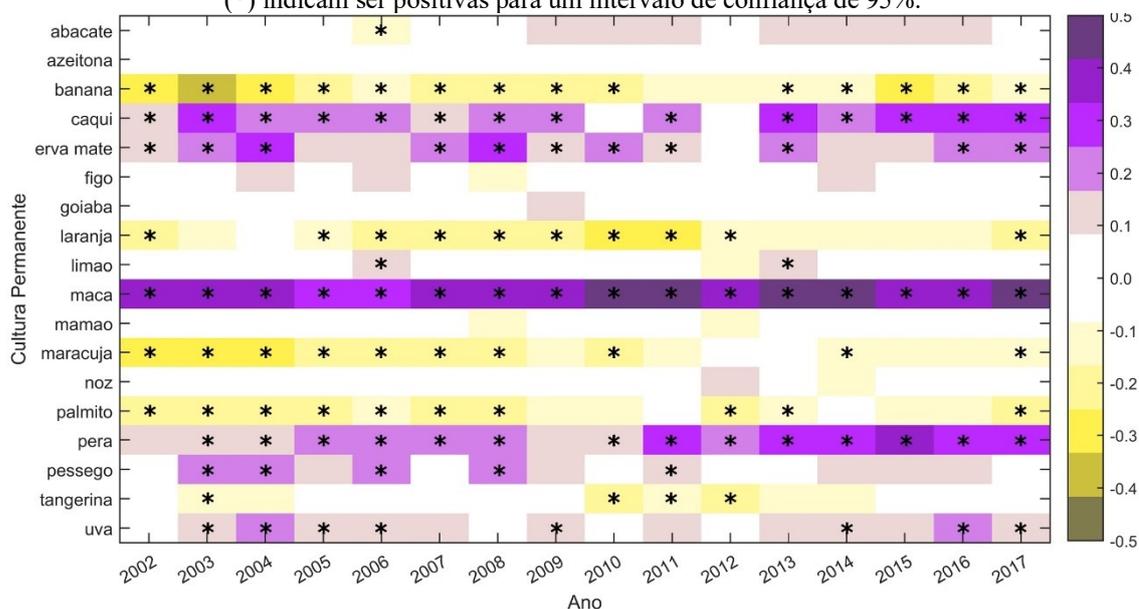
Houve uma correlação negativa no cultivo para mandioca e cana de açúcar. Apesar de que, em outras regiões do Brasil a queima de biomassa da cana ainda ser recorrente (ALLEN; CARDOSO; DA ROCHA, 2004; GIUBBINA et al., 2019), em SC a correlação se manteve entre -0,1 e -0,4.

Figura 25 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Culturas Temporárias. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.



Mesmo sendo sensível ao fogo, foi possível identificar correlações positivas entre Culturas Permanentes e queimadas (Figura 26), a mais notável, é o cultivo de maçã. Com correlações entre 0,31 e 0,49 entre os anos. Além desta, outros cultivos permanentes apresentaram correlações positivas discretas (e.g. caqui, erva-mate e pera). Das correlações negativas, banana, laranja e maracujá apresentaram os menores índices.

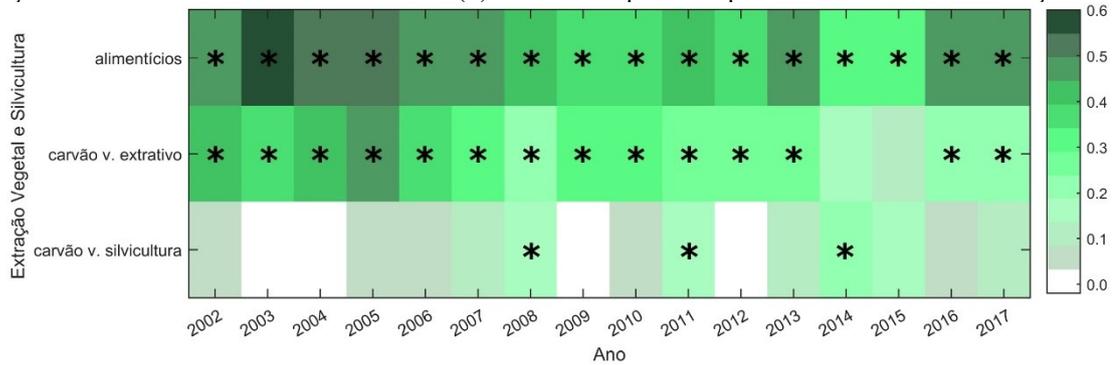
Figura 26 – Correlações de Spearmann entre os focos de calor e Culturas Permanentes. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.



Pela falta de informação da área destinada ao plantio de produtos ligados à produção da extração vegetal e da silvicultura (PEVs) no banco de dados da SIDRA, utilizou-se os dados referentes a produção em toneladas (Figura 27) e produção em m³ (Figura 28). No primeiro grupo estão; os alimentícios, produtos vegetais, originários da exploração de essências florestais, destinados ao consumo humano (*e.g.* palmito, pinhão, mangaba, açaí); o carvão vegetal extrativo (coleta de produtos em matas e florestas nativas); e o carvão vegetal de silvicultura, obtido em florestas plantadas. No segundo grupo estão: lenha, madeira em tora (para papel e celulose, e para outras finalidades), pinheiro em tora e nó de pinho todos da classe extrativa.

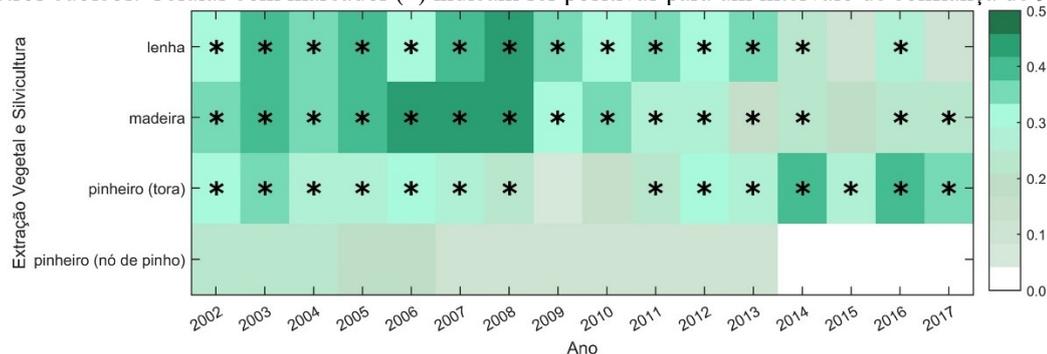
Tanto nos produtos em toneladas quanto nos de produção em m³ não se obteve correlações negativas. No primeiro grupo os alimentícios se destacam pelas maiores correlações, seguidos do carvão extrativista. Poucas foram as correlações do carvão vegetal oriundas da silvicultura com as queimadas em SC.

Figura 27 – Correlações de Spearman entre os focos de calor e Extração Vegetal e Silvicultura com dados de produção em toneladas. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.



Foi observado que lenha e madeira possuem as maiores correlações positivas e com significância dos produtos de origem florestais em metros cúbicos em SC, com correlações em até 0,5. Em relação aos dados de extração vegetal de pinheiro, não se obteve índices significativos para um intervalo de confiança de 95%.

Figura 28 - Correlações de Spearman entre os focos de calor e Extração Vegetal e Silvicultura com dados em metros cúbicos. Células com marcador (*) indicam ser positivas para um intervalo de confiança de 95%.



Não foi possível observar uma tendência de aumento ou redução das correlações das queimadas com os setores agropecuários em SC ao longo dos anos. As variações entre os produtos agropecuários no espaço e entre os anos de 2002 a 2017 estão dispostos no Apêndice C.

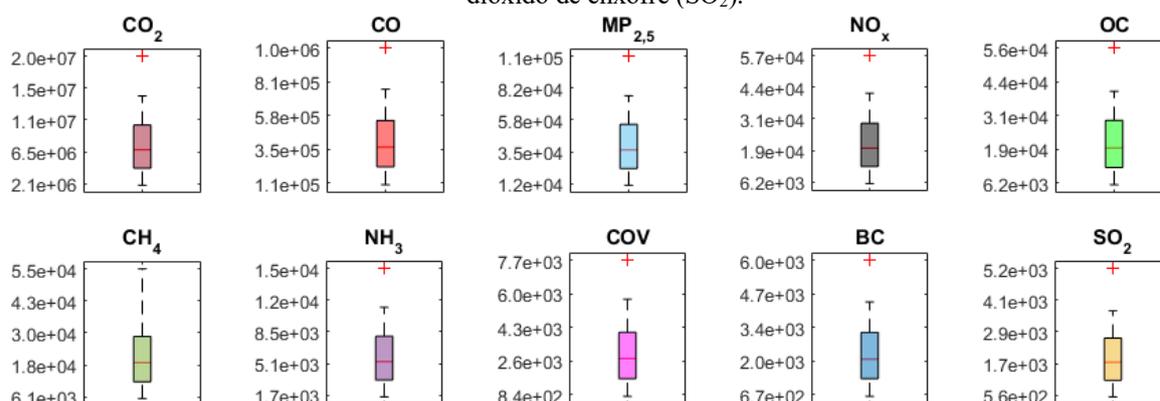
Segundo De Oliveira et al. (2019), mesmo que os incêndios afetem diretamente o setor madeireiro, a maioria das práticas atuais de exploração de madeira tendem a aumentar, em vez de mitigar o problema. Algumas das perdas econômicas do setor madeireiro com a ocorrência das queimadas se deve pela proximidade de sua produção com a fronteira agrícola, onde competem em diferentes práticas econômicas (DE OLIVEIRA et al., 2019; EUGENIO et al., 2019).

Por tratar de números absolutos por município, seria necessário cruzar dados de localização geográfica de cada setor agropecuário com as ocorrências das queimadas para se obter maiores precisões nas correlações.

4.5 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA

Os poluentes estimados pela emissão associadas às queimadas ocorridas em Santa Catarina durante o período 2002 a 2017 estão expostos na Figura 29.

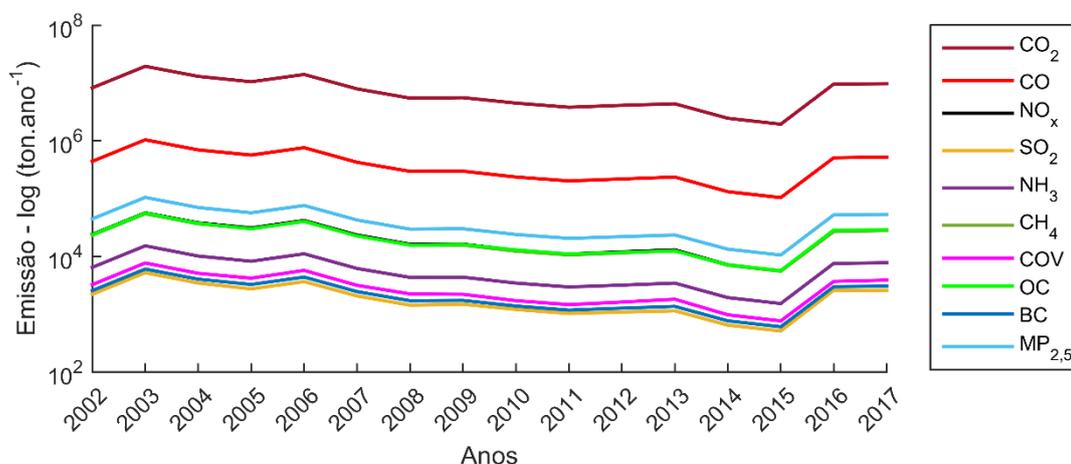
Figura 29 – Boxplot dos gases emitidos pelas queimadas em Santa Catarina de 2002 a 2017. Dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), material particulado de 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), óxido de nitrogênio (NO_x), carbono orgânico (OC), metano (CH_4), amônia (NH_3), compostos orgânicos voláteis (COV), carbono negro (BC) e dióxido de enxofre (SO_2).



O CO_2 foi o poluente com a maior mediana, $6,76 \times 10^6$ toneladas, a estimativa é que este representa 93% do montante dos produtos emitidos por queimadas em Santa Catarina. Enquanto que CO, $\text{MP}_{2,5}$, NO_x , OC, CH_4 , NH_3 , COV, BC e SO_2 somam os outros 7% das emissões. As emissões anuais de CO_2 variaram de $1,94 \times 10^6$ (em 2015) a $1,95 \times 10^7$ (em 2003) toneladas.ano⁻¹. Outros inventários estimaram que a emissão em SC foi $4,1 \times 10^7$ toneladas anuais de CO_2 em 2017 (SEEG, 2020), levando em consideração outros processos como transportes, geração de eletricidade, industriais, entre outros. Este inventário não possui informações das emissões associadas as queimadas.

Na Figura 30 apresentamos a distribuição temporal das estimativas de emissões de CO_2 , CO, $\text{MP}_{2,5}$, NO_x , OC, CH_4 , NH_3 , COV, BC e SO_2 para Santa Catarina de 2002 a 2017.

Figura 30 - Variação anual de CO₂, CO, MP_{2,5}, NO_x, OC, CH₄, NH₃, COV, BC e SO₂ emitido pelas queimadas em Santa Catarina estimadas pelo FINN 1.5 durante o período 2002-2017.



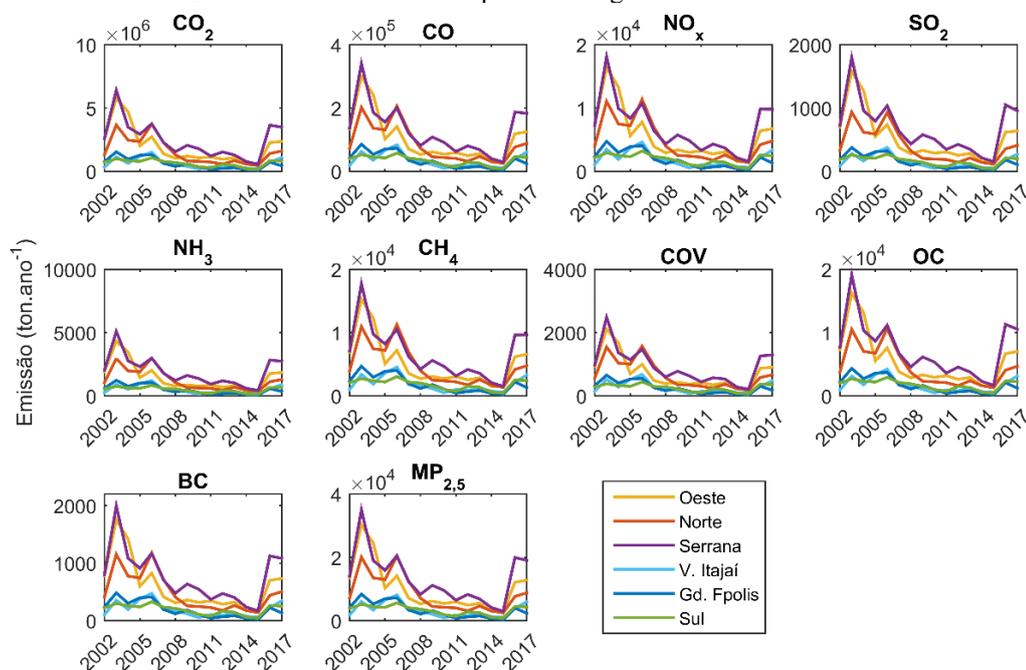
A magnitude das emissões atmosféricas provenientes das queimadas em SC é comparável a das emissões veiculares no Estado de São Paulo (SP). SP é o estado economicamente mais importante do Brasil, com mais de 43 milhões de habitantes, o que representa quase 25% de toda a população do país. Consequentemente possui a maior frota veicular brasileira (CETESB, 2019). Em 2017, as emissões veiculares de CO em SP atingiram 321.153 toneladas contra 524.802 toneladas (média anual de 418.650 toneladas por ano entre 2002 a 2017) das estimativas das emissões de CO por queimadas em SC. Em 2017, a frota de SP também emitiu 154.740; 4.220; 4.712; 68.746 toneladas por ano de NO_x, MP, SO₂ e COV (CETESB, 2019), contra 28.419; 53.365; 2.580; 3.882 de emissões por queimadas em SC. Nesta comparação, as estimativas de emissões de CO e MP em SC são mais altas do que as emissões veiculares de SP.

Comparando com as emissões originadas pelas queimadas de outros países, SC emitiu mais do que todo o país da Costa Rica, El Salvador, República Dominicana e Venezuela (WIEDINMYER et al., 2006).

Em relação à variação interanual dos poluentes, o padrão encontrado é similar ao apresentado pelos focos de calor, visto que a emissão está diretamente associada a frequência com que os eventos de queima acontecem. Trabalhos apresentados por Hooghiemstra et al. (2012) e Aragão et al. (2018) associaram padrões de queima com condições climáticas, e ressaltaram que fatores socioeconômicos e o desmatamento podem controlar a variabilidade das emissões. Pode-se observar uma diminuição das emissões dos poluentes de 2006 ($1,40 \times 10^7$ de toneladas de CO₂) a 2015 ($1,94 \times 10^6$ de toneladas de CO₂) e um crescimento abrupto para o ano de 2016 ($9,53 \times 10^6$ de toneladas de CO₂). Assim como o padrão de distribuição dos focos

de calor, as emissões atmosféricas ao longo dos anos apresentaram perfis semelhantes (Figura 31).

Figura 31 - Estimativas de emissões anuais pelo FINN 1.5 de CO₂, CO, MP_{2,5}, NO_x, OC, CH₄, NH₃, COV, BC e SO₂ de 2002 a 2017 divididas por mesorregiões em Santa Catarina.

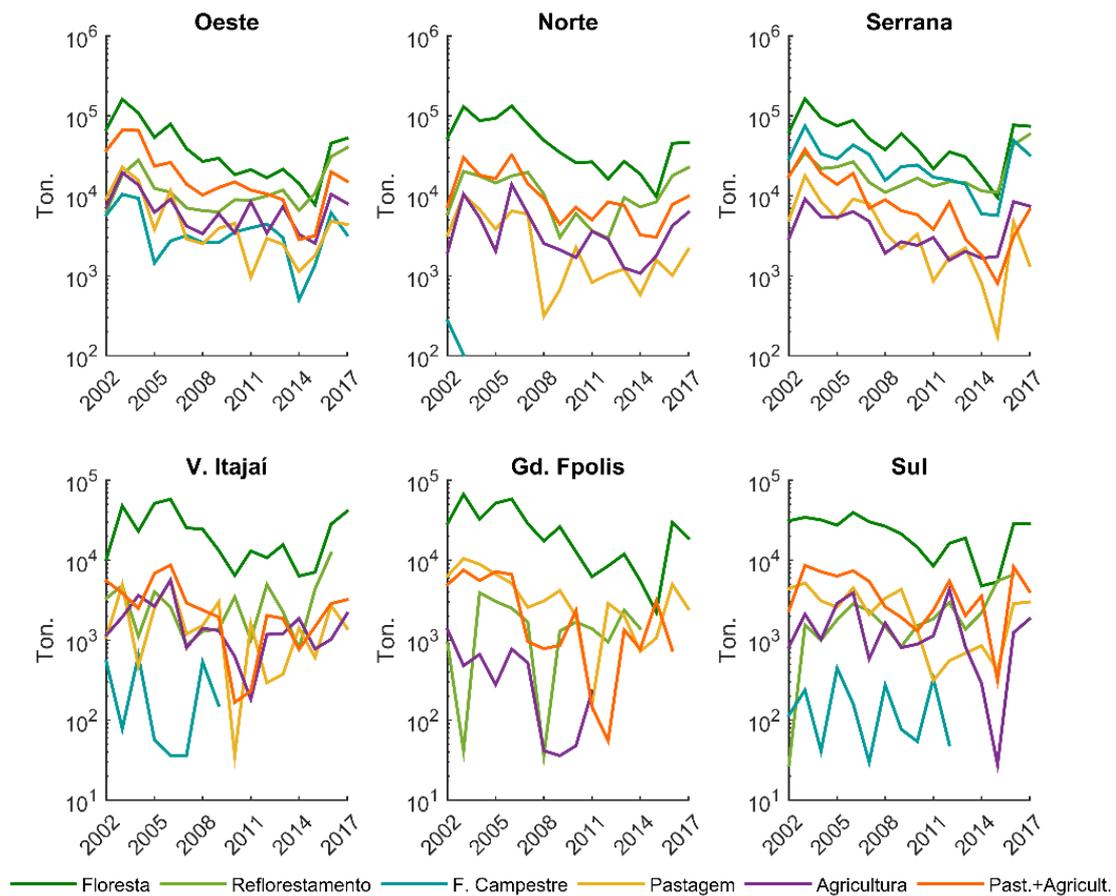


As mesorregiões, Serrana, Oeste e Norte foram responsáveis pelas maiores emissões de poluentes atmosféricos decorrentes das queimadas. Essas mesorregiões também apresentaram a maior queda no número de queimadas de 2006 a 2015 e o maior aumento entre 2015 e 2016. Desde 2005, o principal emissor é a mesorregião Serrana. Antes de 2005, o Oeste era a região com maior frequência de eventos de incêndio e emissões mais próximas da Serrana. Um decréscimo de 70% na participação da plantação de feijão e milho nas últimas décadas pode ter motivado a redução das emissões bem como a redução do desflorestamento no mesmo período (MARCONDES, 2016; SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2017).

Mesmo com um número menor de focos do que o Oeste, a mesorregião Norte superou nas emissões de 2005 a 2008 e em 2014 (Figura 10). Tal fato acontece pela maior parte das queimadas terem ocorrido na classe Floresta no Norte (e.g. 64% das emissões no Norte foram originadas pelas queimadas em Floresta, enquanto que no Oeste a mesma classe foi responsável por 47% das emissões). Entre os tipos de uso da terra a Floresta é a quem possui um maior fator de emissão, decorrente da quantidade de biomassa disponível (WIEDINMYER et al., 2006). A Figura 32 apresenta o perfil das emissões de CO por cada classe de uso da terra e por

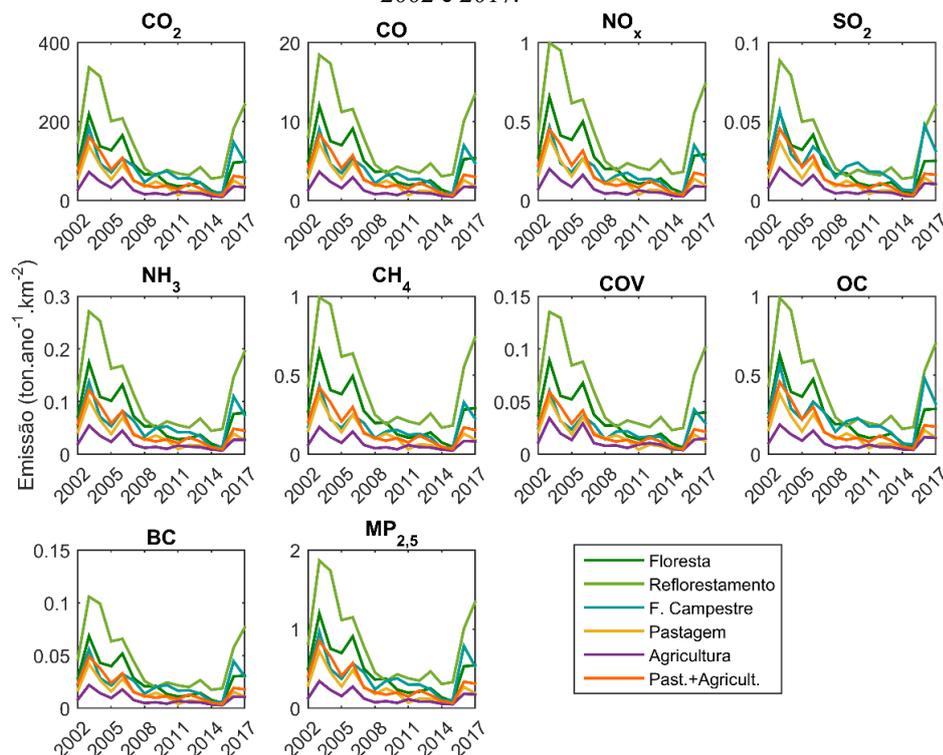
cada mesorregião em SC entre 2002 a 2017. As emissões por tipo de uso da terra para Santa Catarina se encontram no Apêndice F.

Figura 32 - Distribuição anual das emissões de CO em toneladas por mesorregião catarinense e por tipo de uso da terra entre os anos de 2002 e 2017.



Mesmo que, a classe Floresta apresente os maiores registros de queimadas entre as classes, quando tratamos da densidade por área de emissão, o Reflorestamento aparece como um importante como o maior contribuinte (Figura 33). Também é possível averiguar o decréscimo das densidades das emissões entre 2006 a 2015. Nas Formações Campestres e Reflorestamento os aumentos foram mais significativos das emissões por área em 2016. Enquanto que na Floresta este aumento acontece de modo mais discreto.

Figura 33 - Taxa de emissão por poluente, mesorregião e tipo de uso da terra em Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2017.

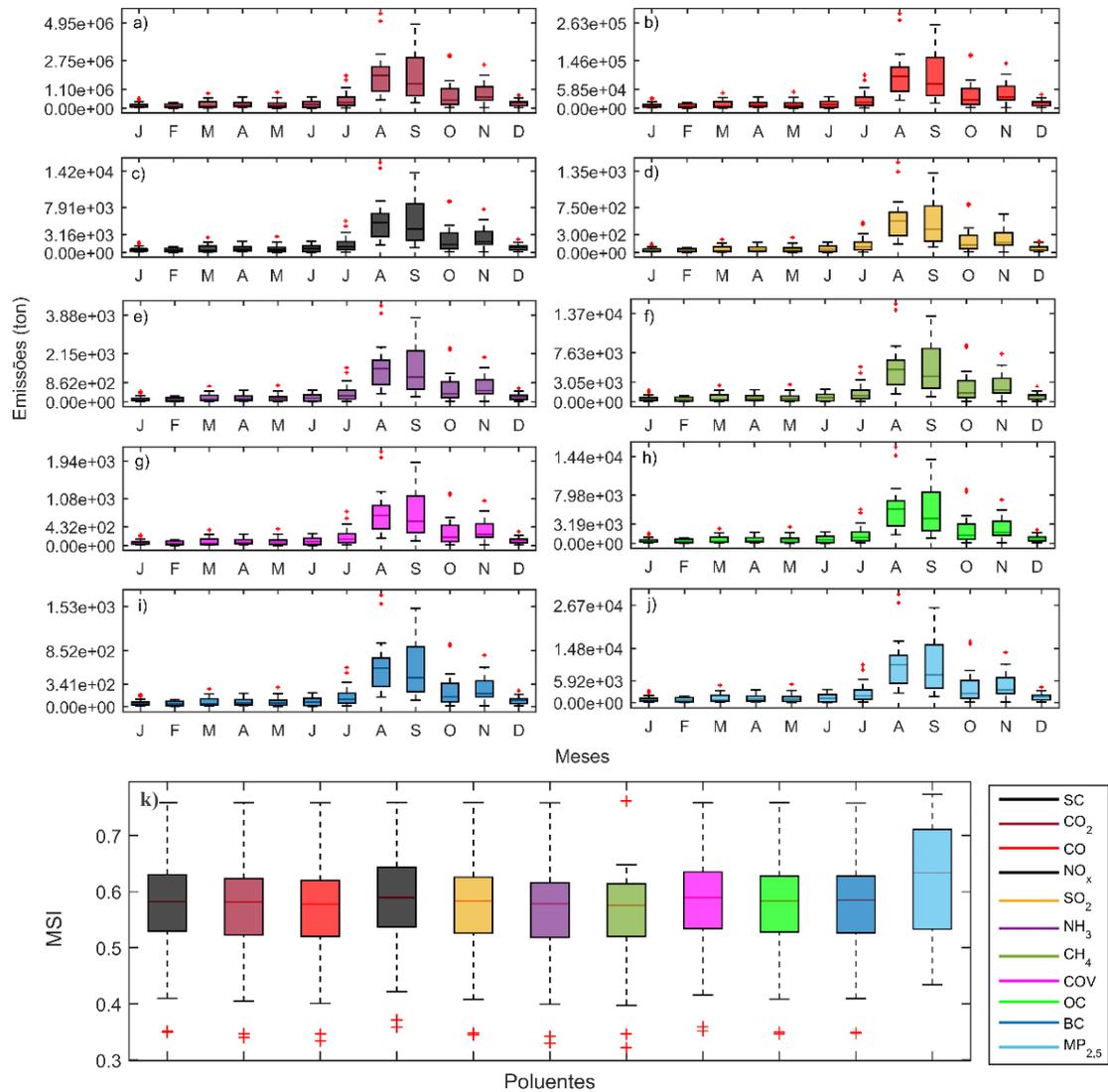


Em relação a sazonalidade das emissões por tipo de uso da terra, durante agosto, foi onde se concentrou a maior média mensal dentre os poluentes (*e.g.* $1,09 \times 10^5$ toneladas de CO), o que representa aproximadamente 30% da emissão anual (Figura 34), enquanto que setembro concentra 23% das emissões anuais. O mês com menor concentração foi fevereiro, com apenas 2% das emissões.

Assim como existe uma sazonalidade assídua na frequência com que as queimadas ocorrem, esta, é o fator determinante para a magnitude das emissões ao longo dos meses.

O MSI aplicado para todos os poluentes entre os anos de 2002 e 2017 (Figura 34k), enfatiza as altas emissões em um período curto. Em relação às questões da qualidade do ar, o perfil das ocorrências das emissões associadas às queimadas apresenta um grande problema, principalmente quando se trata da dispersão destes poluentes na atmosfera. Assim como, aumenta a probabilidade de altas concentrações de poluentes próximos aos locais das ocorrências das queimadas.

Figura 34 - Distribuição mensal das emissões em toneladas associadas as queimadas em Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2017, a) CO₂, b) CO, c) NO_x, d) SO₂, e) NH₃, f) CH₄, g) COV, h) OC, i) BC j) MP_{2,5}, k) Variação do MSI dos poluentes CO₂, CO, MP_{2,5}, NO_x, OC, CH₄, NH₃, COV, BC e SO₂ entre 2002 e 2017.



As distribuições interanuais e intra-anuais dos poluentes entre os municípios catarinenses se encontram no Apêndice G e H.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho analisou as ocorrências das queimadas em Santa Catarina, sua distribuição espacial, temporal, associação com as classes de uso da terra e a magnitude das emissões dos 51.369 registros de focos de calor entre os anos de 2002 e 2017.

Uma análise temporal anual, permitiu identificar que, uma substancial redução no número de focos de calor ocorreu entre 2006 a 2015. Por outro lado, um aumento abrupto de 430% ocorreu entre 2015 e 2016. Uma possível associação entre o desflorestamento da Mata Atlântica e as queimadas podem explicar o aumento das ocorrências, visto que em 2016 também foi o maior registro na última década de desmate em Santa Catarina.

As séries temporais dos valores mensais mostraram que as maiores concentrações das ocorrências de fogo foram entre os meses de agosto e setembro, os quais foram coincidentes com os registros mínimos das médias das precipitações mensais. Apesar dessa coincidência, a análise temporal apresentou que, padrões não são identificados entre chuvas e queimadas em Santa Catarina. Uma investigação mais detalhada de outros fatores meteorológicos deve ser analisada, visto que, umidade, temperatura, direção e velocidade do vento influenciam na dinâmica das queimadas, bem como, uma maior série histórica.

As queimadas em SC apresentaram ter um padrão espacial bem definido. As mesorregiões, Serrana, Oeste e Norte concentraram as maiores ocorrências entre os anos de 2002 e 2017.

Foi encontrado que 37% dos focos de calor detectados pelo FINN em Santa Catarina ocorreram na classe Floresta, seguidos pela Formação Campestre com 19%. Pastagem, Agricultura e Past.+Agricult., correspondem a 7%, 12% e 17% dos focos detectados respectivamente. Entretanto, diferentes classes de uso da terra apresentaram predominância de focos entre as mesorregiões em destaque. Na Serrana, nas classes Formação Campestre (45%) e Floresta (30%) se destacaram com os maiores percentuais. Enquanto que no Oeste, Pastagem, Agricultura e Past.+Agricult., juntas, representam 55% das ocorrências, e Floresta, 32%. No Norte, a Floresta correspondeu a 54% dos focos, seguidos da Past.+Agricult., com 17%.

Correlações dos dados municipais entre queimadas e as atividades agropecuárias foram analisadas, na criação de bovinos valores de 0,34 a 0,60 foram calculados na série. Outras criações de rebanhos expansivos como ovinos, bubalinos, equinos e caprinos também apresentaram valores significativos positivos. Em relação a agricultura, as culturas temporárias

com as maiores correlações com focos de calor foram, alho, batata inglesa, cebola, cevada, feijão, milho, soja e trigo. Por conta da preservação das lavouras permanentes visando a colheita nas próximas safras, eram esperadas fracas correlações das queimadas com os cultivos permanentes, entretanto, a maçã apresentou correlações positivas de 0,31 a 0,49. Na Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, lenha e madeira são responsáveis pelas maiores correlações positivas e com significância dos produtos de origem florestais em SC. Análises relacionadas com os cadastros ambientais rurais (CAR), poderiam auxiliar nas informações das propriedades rurais, visto que, contém informações mais detalhadas das atividades desenvolvidas e dados georreferenciados das atividades desenvolvidas.

Quando se trata das emissões, estas seguiram o mesmo perfil dos focos de calor, tanto para o estado, quanto nas mesorregiões e municípios. Com uma mediana de emissão de $3,62 \times 10^5$ toneladas de CO, por exemplo, às estimativas das magnitudes dos poluentes em SC, superam as emissões veiculares de estados, como São Paulo. As mesorregiões, Serrana, Oeste e Norte são as principais contribuintes nas emissões de poluentes atmosféricos originados pelas queimadas.

As emissões associadas às queimadas na Floresta representam 57%. Se associados as classes de Mosaico de Agricultura ou Pastagem, Pastagem e Agricultura o percentual de contribuição nas emissões em SC chegam a 24%. Mesmo com um número menor de focos do que o Oeste, a mesorregião Norte, a superou nas emissões de 2005 a 2008 e em 2014. Tal fato ocorre pela maior parte das queimadas terem ocorrido na classe Floresta na mesorregião Norte.

As variações das emissões de acordo com cada classe de uso da terra enfatizam a necessidade de coeficientes de emissão mais refinados, bem como, melhorias na detecção da área queimada atualizados para melhor representar a magnitude e a variabilidade das emissões. Esforços futuros devem ser realizados para acompanhar desempenhos de outros modelos na região.

6 REFERÊNCIAS

- ACR. Associação Catarinense de Empresas Florestais **Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina 2019 (Ano base 2018)**. Lages/SC, 2019. Disponível em: <http://www.acr.org.br/noticia.php?id=370>. Acesso em: 17 de fev. 2020
- ALLEN, A. G.; CARDOSO, A. A.; DA ROCHA, G. O. Influence of sugar cane burning on aerosol soluble ion composition in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, 2004.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013.
- ANDELA, N. et al. A human-driven decline in global burned area. **Science**, 2017.
- ANDRADE, M. de F. et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, 2017. .
- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, 2001.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>>.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in amazonian forests with implications for REDD. **Science**, 2010.
- ARTAXO, P. et al. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazonica**, 2005.
- BAI, L. et al. Exposure to ambient ultrafine particles and nitrogen dioxide and incident hypertension and diabetes. **Epidemiology**, 2018.
- BEATTY, T. K. M.; SHIMSHACK, J. P. Air pollution and children's respiratory health: A cohort analysis. **Journal of Environmental Economics and Management**, 2014.
- BERNARDI, R. E. et al. Livestock Herbivory Shapes Fire Regimes and Vegetation Structure Across the Global Tropics. **Ecosystems**, 2019a.
- BERNARDI, R. E. et al. Forests expand as livestock pressure declines in subtropical South America. **Ecology and Society**, 2019b.
- BOND, W. J.; WOODWARD, F. I.; MIDGLEY, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New Phytologist**, 2005.
- BRASIL. 1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. p. 114, 2011.
- BRITO, J. et al. Disentangling vehicular emission impact on urban air pollution using ethanol

as a tracer. **Scientific Reports**, 2018.

BRUNEKREEF, B.; HOLGATE, S. T. **Air pollution and health** *Lancet*, 2002. .

CAMMELLI, F.; ANGELSEN, A. Amazonian farmers' response to fire policies and climate change. **Ecological Economics**, 2019.

CAPLIN, A. et al. **Advancing environmental exposure assessment science to benefit society** *Nature Communications*, 2019. .

CAÚLA, R. H. et al. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1497–1508, 2015.

CERRI, C. E. P. et al. Reducing Amazon deforestation through agricultural intensification in the Cerrado for advancing food security and mitigating climate change. **Sustainability (Switzerland)**, 2018.

CETESB. **EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO 2018**. [s.l: s.n.].

CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B. The Role of Land Cover in the Propagation of Rainfall Into Streamflow Trends. **Water Resources Research**, 2018.

CHEN, Y. et al. A pan-tropical cascade of fire driven by El Niño/Southern Oscillation. **Nature Climate Change**, 2017.

COCHRANE, M. A. et al. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In: **Tropical Fire Ecology**. [s.l: s.n.]

DA SILVA JÚNIOR, L. A. S. et al. Fire dynamics in extreme climatic events in western amazon. **Environmental Development**, 2019.

DE OLIVEIRA, A. S. et al. Economic losses to sustainable timber production by fire in the Brazilian Amazon. **Geographical Journal**, 2019.

DE OLIVEIRA ALVES, N. et al. Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. **Scientific Reports**, 2017.

DE OLIVEIRA ANDRADE, R. Alarming surge in Amazon fires prompts global outcry. **Nature**, 2019.

DOCKERY, D. W. et al. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. **New England Journal of Medicine**, 1993.

DOS SANTOS, J. F. C. et al. Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of the Total Environment**, 2019.

ESCOBAR, H. Brazilian institute head fired after clashing with nation's president over deforestation data. **Science**, 2019.

EUGENIO, F. C. et al. Causal, temporal and spatial statistics of wildfires in areas of planted forests in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 2019.

FANIN, T.; VAN DER WERF, G. R. Relationships between burned area, forest cover loss, and land cover change in the Brazilian Amazon based on satellite data. **Biogeosciences**, 2015.

FERREIRA, L. N. et al. Global fire season severity analysis and forecasting. **Computers and Geosciences**, 2020.

FLANNIGAN, M. D.; HARRINGTON, J. B. **A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80)** *Journal of Applied Meteorology*, 1988. .

FLORES, B. M. et al. Repeated fires trap Amazonian blackwater floodplains in an open vegetation state. **Journal of Applied Ecology**, 2016.

GIUBBINA, F. F. et al. Temporal variation of ethanol in rainwater from the sugar cane belt of São Paulo State (Brazil). **Atmospheric Environment**, 2019.

HIROTA, M. et al. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, 2011.

HISLOP, S. et al. A satellite data driven approach to monitoring and reporting fire disturbance and recovery across boreal and temperate forests. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2020.

HOOGHMSTRA, P. B. et al. Interannual variability of carbon monoxide emission estimates over South America from 2006 to 2010. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, 2012.

IBGE. Divisão Regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. **Journal of Chemical Information and Modeling**, 1990.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário.**

ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **Anais...**2005.

INPE. **Home — Programa Queimadas.** Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

JOLLY, W. M. et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. **Nature Communications**, 2015.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. **Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiatives** *New Phytologist*, 2014. .

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods. 4th Edition.** [s.l: s.n.]

LACIS, A. A. et al. Atmospheric CO₂: Principal control knob governing earth's temperature. **Science**, 2010.

LELIEVELD, J. et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. **Nature**, 2015.

LIU, T. et al. Diagnosing spatial biases and uncertainties in global fire emissions inventories: Indonesia as regional case study. **Remote Sensing of Environment**, 2020.

LONGO, K. M. et al. The coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (catt-brams)-part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 2010.

MAGADZIRE, N. et al. Fire and life history affect the distribution of plant species in a biodiversity hotspot. **Diversity and Distributions**, 2019.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, 1945.

MATAVELI, G. A. V. et al. Characterization and trends of fine particulate matter (PM_{2.5}) fire emissions in the Brazilian Cerrado during 2002-2017. **Remote Sensing**, 2019.

MEALS, D. W. et al. **Statistical analysis for monotonic trends** Tetra Tech, Inc. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Health Brazil 2018: An analysis of the health situation and of chronic diseases and conditions: challenges and perspectives**. 1^a ed. [s.l: s.n.]

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

MOLINA, M. J.; MOLINA, L. T. Megacities and atmospheric pollution. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 54, n. 6, p. 644-680, 2012.

MORELLO, T. F. et al. Policy instruments to control Amazon fires: A simulation approach. **Ecological Economics**, 2017.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de et al. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 2020.

PEREIRA, G. et al. Assessment of fire emission inventories during the South American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) experiment. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 2016.

PHILLIPS, N.; NOGRADY, B. **The race to decipher how climate change influenced Australia's record fires** Nature, 2020. .

PILLAR, V. D. P. et al. **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. [s.l: s.n.]

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, 2011.

POPE, C. A. et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **Journal of the American Medical Association**, 2002.

RAIMONDI, J. V.; MARSCHALEK, R.; NODARI, R. O. Genetic base of paddy rice cultivars of Southern Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 2014.

RIBEIRO, I. O. et al. Biomass burning and carbon monoxide patterns in Brazil during the extreme drought years of 2005, 2010, and 2015. **Environmental Pollution**, v. 243, p. 1008–1014, 1 dez. 2018.

RODRIGUES, M.; JIMÉNEZ, A.; DE LA RIVA, J. Analysis of recent spatial–temporal evolution of human driving factors of wildfires in Spain. **Natural Hazards**, 2016.

ROY, D. P. et al. The collection 5 MODIS burned area product - Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. **Remote Sensing of Environment**, 2008.

SANSEVERO, J. B. B. et al. Fire drives abandoned pastures to a savanna-like state in the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 2020.

SCHMIDT, M. I. et al. **Chronic non-communicable diseases in Brazil: Burden and current challenges** *The Lancet*, 2011. .

SEEG. **Emissões Totais | SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases**. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#>. Acesso em: 21 fev. 2020.

SEILER, W.; CRUTZEN, P. J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic Change**, 1980.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall’s Tau. **Journal of the American Statistical Association**, 1968.

SEVEGNANI, L.; SCHROEDER, E. **Biodiversidade catarinense: características, potencialidades, ameaças**. [s.l: s.n.]

SHI, Y. et al. Comparison of global inventories of CO₂ emissions from biomass burning during 2002-2011 derived from multiple satellite products. **Environmental Pollution**, 2015.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Fire responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian droughts. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, n. May, p. 1–16, 2019.

SILVESTRINI, R. A. et al. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. **Ecological Applications**, 2011.

SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2017-2018** *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica*. [s.l: s.n.].

SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Desmatamento da Mata Atlântica cresce quase 60% em um ano - SOS Mata Atlântica**. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/noticias/desmatamento-da-mata-atlantica-cresce-quase-60-em-um-ano/>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

STAAL, A. et al. Bistability, Spatial Interaction, and the Distribution of Tropical Forests and Savannas. **Ecosystems**, 2016.

STAAL, A. et al. Resilience of tropical tree cover: The roles of climate, fire, and herbivory. **Global Change Biology**, 2018.

STIPS, A. et al. On the causal structure between CO₂ and global temperature. **Scientific Reports**, 2016.

STRAND, J. et al. Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest's Ecosystem Services. **Nature Sustainability**, 2018.

TEIXEIRA, N. C. et al. A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN WILDFIRES AND RAINFALL IN THE STATE OF SANTA CATARINA. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis - SC. **Anais...** Florianópolis - SC: 2017.

TEIXEIRA, N. C. et al. AN EVALUATION OF ATMOSPHERIC EMISSIONS DUE TO BIOMASS BURNING IN BRAZILIAN STATES. p. 7569, 2019.

THEIL, H. A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. In: [s.l: s.n.]

TOLLEFSON, J. Deforestation ticks up in Brazil's savannah. **Nature**, 2018.

TORRES, F. T. P. et al. Fire danger index efficiency as a function of fuel moisture and fire behavior. **Science of the Total Environment**, 2018.

TURCO, M. et al. Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal. **Scientific Reports**, 2019.

URBANSKI, S. P.; HAO, W. M.; BAKER, S. **Chapter 4 Chemical Composition of Wildland Fire Emissions** *Developments in Environmental Science*, 2008. .

VAN DER WERF, G. R. et al. **Global fire emissions estimates during 1997-2016** *Earth System Science Data*, 2017. .

VAN NES, E. H. et al. Fire forbids fifty-fifty forest. **PLoS ONE**, 2018.

VITOLO, C. et al. Data descriptor: A 1980–2018 global fire danger re-analysis dataset for the Canadian fire weather indices. **Scientific Data**, 2019.

VOULGARAKIS, A.; FIELD, R. D. **Fire Influences on Atmospheric Composition, Air Quality and Climate** *Current Pollution Reports*, 2015. .

WHO. **WHO | World Health Organization**. Disponível em: <<https://www.who.int/>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

WIEDINMYER, C. et al. Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 19, p. 3419–3432, 2006.

WIEDINMYER, C. et al. The Fire INventory from NCAR (FINN): A high resolution global model to estimate the emissions from open burning. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 625–641, 2011.

ZEB, N. et al. Exploring the temporal trends and seasonal behaviour of tropospheric trace gases over Pakistan by exploiting satellite observations. **Atmospheric Environment**, 2019.

APÊNDICE A – FOCOS DE CALOR POR MUNICÍPIO ENTRE 2002 E 2017

Tabela 2 - Focos de calor por município entre 2002 e 2017.

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ABDON BATISTA	22	78	31	31	24	10	10	14	10	5	4	12	6	2	8	23
ABELARDO LUZ	38	115	82	24	66	19	18	22	24	15	22	15	14	15	56	44
AGROLÂNDIA	2	16	16	16	12	2	0	0	0	6	2	4	4	6	8	4
AGRONÔMICA	0	10	2	2	4	4	0	2	0	0	2	0	0	2	4	4
ÁGUA DOCE	158	248	195	65	119	89	44	56	94	62	42	53	42	26	126	122
ÁGUAS DE CHAPECÓ	2	13	4	11	8	0	6	0	0	2	0	3	0	0	2	2
ÁGUAS FRIAS	4	6	4	8	0	4	2	2	2	2	0	0	0	2	0	0
ÁGUAS MORNAS	8	14	3	12	12	6	12	6	0	0	2	2	2	0	6	8
ALFREDO WAGNER	18	60	59	37	36	18	8	12	10	4	6	10	2	2	22	8
ALTO BELA VISTA	4	4	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
ANCHIETA	28	33	29	20	14	6	7	10	1	2	0	0	0	2	14	2
ANGELINA	22	29	12	28	18	10	8	10	4	2	4	10	0	0	31	2
ANITA GARIBALDI	33	82	86	72	52	28	40	34	22	16	42	16	14	4	49	43
ANITÁPOLIS	25	39	23	28	40	24	15	30	14	4	8	14	4	2	18	16
ANTÔNIO CARLOS	4	12	4	5	2	2	2	0	2	2	0	0	0	0	4	0
APIÚNA	0	8	6	6	28	6	6	6	4	16	2	12	0	0	12	10
ARABUTÃ	2	12	2	8	11	0	4	6	2	2	0	6	2	0	6	0
ARAQUARI	0	6	0	4	10	0	2	0	0	4	4	0	4	2	12	12
ARARANGUÁ	16	26	13	6	8	6	4	4	2	4	34	4	2	0	8	9
ARMAZÉM	2	10	9	10	10	10	2	4	2	6	2	4	2	2	8	2
ARROIO TRINTA	4	12	14	2	10	4	5	2	6	4	2	2	0	0	5	9
ARVOREDO	2	10	6	6	0	0	6	4	0	2	2	2	0	0	2	2

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ASCURRA	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
ATALANTA	0	1	2	4	2	0	0	2	2	0	0	8	0	0	4	4
AURORA	4	10	6	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
BALNEÁRIO ARROIO DO SILVA	3	21	8	12	8	9	0	4	2	0	7	0	8	0	2	2
BALNEÁRIO CAMBORIÚ	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2
BALNEÁRIO BARRA DO SUL	0	8	0	2	0	0	0	2	2	0	0	0	12	0	4	0
BALNEÁRIO GAIVOTA	0	5	0	31	4	8	6	0	4	4	6	0	0	0	4	4
BALNEÁRIO RINCÃO	0	2	2	0	5	2	0	0	0	2	2	3	0	0	2	2
BANDEIRANTE	14	22	16	8	9	2	0	6	2	2	0	1	2	0	0	4
BARRA BONITA	4	19	6	10	8	0	1	2	8	2	2	0	0	2	6	4
BARRA VELHA	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
BELA VISTA DO TOLDO	12	24	28	6	54	19	12	12	4	6	4	13	20	2	6	12
BELMONTE	0	6	6	2	4	4	4	2	2	2	4	0	0	0	4	2
BENEDITO NOVO	0	2	0	2	0	10	8	6	4	4	0	0	0	0	8	6
BIGUAÇU	6	26	2	12	9	4	2	2	0	4	0	4	4	0	4	4
BLUMENAU	6	8	0	8	21	10	2	12	18	4	6	8	10	2	2	6
BOCAINA DO SUL	20	37	14	24	29	12	8	14	13	4	8	6	4	6	8	28
BOM JARDIM DA SERRA	64	135	16	16	46	84	35	34	36	49	23	23	28	6	190	44
BOM JESUS	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	2
BOM JESUS DO OESTE	0	4	6	2	2	4	2	4	0	2	8	2	0	0	4	2
BOM RETIRO	24	42	22	28	40	36	20	12	18	10	0	16	10	0	24	18
BOTUVERÁ	0	0	2	9	6	2	3	4	2	4	2	2	0	6	9	10
BRAÇO DO NORTE	8	10	9	6	13	8	0	8	0	4	0	2	0	8	5	4
BRAÇO DO TROMBUDO	4	2	6	0	0	0	0	0	0	0	4	2	12	0	6	12
BRUNÓPOLIS	36	62	18	24	22	22	6	14	10	4	8	11	4	18	36	11

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
BRUSQUE	4	12	12	4	9	0	1	2	6	0	6	0	4	2	8	0
CAÇADOR	42	88	52	18	20	14	14	6	8	16	14	29	14	10	33	70
CAIBI	8	19	18	8	2	4	4	4	0	2	16	2	8	0	3	8
CALMON	45	56	40	26	56	16	16	6	8	8	2	26	6	8	67	31
CAMBORIÚ	2	6	0	4	8	0	0	0	0	0	2	0	0	4	2	8
CAPÃO ALTO	105	145	90	63	114	114	44	107	113	76	58	32	52	20	185	139
CAMPO ALEGRE	28	22	12	8	19	12	8	2	3	8	8	2	2	2	14	6
CAMPO BELO DO SUL	57	128	83	59	102	52	36	32	41	37	20	16	18	10	114	108
CAMPO ERÊ	16	46	39	6	16	18	16	6	6	4	12	4	4	0	37	6
CAMPOS NOVOS	108	244	211	96	100	47	56	79	66	49	55	77	36	28	79	77
CANELINHA	3	14	4	2	10	8	4	2	4	2	2	0	4	0	2	2
CANOINHAS	32	113	55	50	48	74	40	16	30	21	9	24	20	16	37	39
CAPINZAL	5	14	18	14	10	0	4	2	0	0	6	4	2	2	8	12
CAPIVARI DE BAIXO	4	10	7	4	14	0	2	6	0	13	2	0	0	0	1	0
CATANDUVAS	10	34	44	10	2	10	6	12	8	13	4	4	2	0	8	22
CAXAMBU DO SUL	0	6	4	2	2	0	0	7	0	6	4	2	2	2	2	0
CELSO RAMOS	10	26	28	30	19	6	6	16	10	4	24	0	14	6	6	35
CERRO NEGRO	28	73	63	54	47	38	27	32	21	9	20	24	22	16	56	42
CHAPADÃO DO LAGEADO	2	16	2	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
CHAPECÓ	12	34	22	10	22	6	11	14	7	6	6	6	6	4	32	18
COCAL DO SUL	0	2	4	3	0	4	2	2	2	4	2	0	0	0	0	0
CONCÓRDIA	18	50	85	37	48	26	22	32	17	30	10	19	14	11	30	14
CORDILHEIRA ALTA	0	4	2	6	2	4	6	0	8	2	0	0	4	2	0	2
CORONEL FREITAS	8	14	18	10	6	2	2	4	2	2	2	0	0	2	4	8
CORONEL MARTINS	2	18	12	2	2	2	1	2	4	0	2	2	0	2	6	0

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CORUPA	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
CORREIA PINTO	47	72	35	47	74	32	18	50	12	35	23	18	23	2	70	37
CRICIÚMA	2	8	2	10	7	8	2	6	4	0	2	0	0	0	8	2
CUNHA PORÃ	4	12	24	8	6	6	2	4	4	2	4	2	0	0	0	4
CUNHATAÍ	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CURITIBANOS	35	138	81	48	89	41	21	29	22	26	21	16	18	17	75	64
DESCANSO	4	18	21	9	14	6	4	4	4	4	0	8	8	0	0	0
DIONÍSIO CERQUEIRA	10	22	10	26	16	6	4	8	8	2	6	10	0	0	16	4
DONA EMMA	2	10	0	4	4	6	0	0	2	0	0	0	2	0	4	6
DOUTOR PEDRINHO	2	8	4	4	4	2	0	2	2	2	2	2	4	0	0	2
ENTRE RIOS	14	14	2	10	6	8	4	9	6	4	0	5	0	2	4	9
ERMO	0	2	6	2	2	0	0	6	2	0	10	5	0	0	3	0
ERVAL VELHO	7	22	18	8	20	4	0	11	4	3	4	12	2	2	18	18
FAXINAL DOS GUEDES	20	30	25	10	12	15	6	17	8	0	0	9	0	0	8	10
FLOR DO SERTÃO	8	4	2	4	4	2	2	2	0	0	0	4	0	0	4	2
FLORIANÓPOLIS	0	4	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0
FORMOSA DO SUL	10	6	6	6	6	0	2	6	0	0	2	4	0	2	12	6
FORQUILHINHA	2	6	4	2	14	3	0	4	0	0	13	6	0	0	4	6
FRAIBURGO	58	114	96	31	40	29	18	33	8	18	19	25	10	8	32	32
FREI ROGÉRIO	4	21	18	0	10	2	8	2	4	4	5	0	0	0	5	6
GALVÃO	8	2	8	8	6	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	4
GAROPABA	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
GARUVA	2	8	0	2	12	4	2	4	2	0	4	7	2	5	14	6
GASPAR	0	6	0	2	8	6	6	0	0	2	2	2	4	2	4	2
GRÃO PARÁ	28	28	23	12	33	30	10	18	6	10	18	8	8	2	8	10

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
GRAVATAL	2	4	3	2	4	1	6	0	0	0	0	0	2	0	5	0
GUABIRUBA	0	2	0	6	10	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
GUARACIABA	16	29	37	10	12	14	0	4	11	4	0	4	0	2	4	6
GUARAMIRIM	0	8	2	6	4	0	2	2	4	6	4	6	4	6	8	6
GUARUJÁ DO SUL	8	7	1	4	2	4	0	6	2	0	2	0	0	0	2	2
GUATAMBÚ	4	16	12	2	2	4	0	4	0	4	0	0	0	4	2	2
HERVAL D'OESTE	8	36	26	37	18	6	4	6	2	10	2	2	2	7	12	0
IBIAM	8	24	22	18	8	8	0	8	2	8	8	15	4	12	9	8
IBICARÉ	2	12	29	16	8	2	4	4	6	0	2	2	2	2	8	2
IBIRAMA	4	8	4	4	6	4	2	0	0	0	2	2	6	0	2	6
IÇARA	0	4	10	2	13	2	8	2	0	2	14	17	0	2	9	18
ILHOTA	3	10	0	4	10	2	4	0	6	0	2	0	0	0	2	8
IMARUÍ	16	14	13	32	20	13	6	12	8	6	4	4	4	4	16	14
IMBITUBA	0	10	2	4	2	0	2	0	4	4	0	2	0	2	2	4
IMBUIA	6	0	6	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
INDAIAL	4	4	8	2	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	2	4
IOMERÉ	3	7	22	10	6	4	5	4	0	8	0	2	0	0	5	2
IPIRA	4	16	20	6	4	0	0	10	2	6	6	0	2	0	1	2
IPORÃ DO OESTE	2	16	14	8	4	2	2	1	0	2	0	10	0	0	0	2
IPIUAÇU	30	79	26	35	56	32	26	7	30	26	14	25	6	11	38	34
IPUMIRIM	16	10	22	4	4	13	16	13	14	8	10	14	8	5	10	14
IRACEMINHA	4	16	7	4	12	6	0	2	2	8	0	2	4	2	6	0
IRANI	26	39	31	7	27	20	12	8	14	4	8	4	4	2	26	12
IRATI	6	8	6	0	7	4	2	4	12	2	2	2	2	0	8	2
IRINEÓPOLIS	18	42	46	42	63	8	10	9	10	6	6	2	4	2	16	8

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ITA	2	6	2	0	2	4	4	9	0	2	2	0	4	0	4	0
ITAIÓPOLIS	44	135	50	70	100	80	33	38	16	32	26	20	22	14	54	70
ITAJAÍ	2	10	2	6	12	6	4	0	10	10	4	2	10	2	6	7
ITAPEMA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
ITAPIRANGA	0	20	16	4	0	6	2	4	4	0	6	2	0	0	2	0
ITAPOÁ	0	8	0	0	0	2	4	0	2	0	0	0	0	2	2	0
ITUPORANGA	2	10	6	4	2	2	0	0	2	2	2	2	0	4	2	4
JABORÁ	10	27	26	19	10	8	12	2	7	0	9	4	2	2	14	8
JACINTO MACHADO	0	8	6	6	4	8	15	0	4	2	8	6	4	0	4	8
JAGUARUNA	10	14	14	24	6	14	8	0	4	6	12	4	5	12	26	10
JARAGUÁ DO SUL	2	6	6	10	8	2	4	4	6	0	0	4	6	0	0	2
JARDINÓPOLIS	2	8	4	2	5	2	2	6	0	0	6	4	0	0	2	0
JOAÇABA	2	10	9	8	8	7	0	6	0	2	9	2	2	2	6	10
JOINVILLE	4	6	0	2	12	4	4	6	0	3	4	2	8	2	6	0
JOSÉ BOITEUX	2	8	4	12	4	2	14	2	2	8	2	12	2	4	10	27
JUPIÁ	4	2	4	7	4	2	0	4	0	2	2	2	2	0	4	2
LACERDÓPOLIS	0	4	2	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0
LAGES	158	370	182	168	264	231	135	204	236	157	122	120	104	69	470	285
LAGUNA	0	10	2	2	8	0	2	0	9	4	2	2	4	0	7	8
LAJEADO GRANDE	2	4	2	4	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAURENTINO	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
LAURO MULLER	8	9	14	6	14	11	2	6	2	0	6	7	4	2	2	0
LEBON RÉGIS	101	232	196	51	106	53	28	41	38	43	55	26	20	22	73	82
LEOBERTO LEAL	8	24	16	20	26	6	4	6	4	2	0	2	0	2	9	8
LINDÓIA DO SUL	14	23	33	6	15	3	4	7	2	4	4	2	8	0	8	0

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
LONTRAS	6	3	2	4	8	2	8	0	0	0	8	0	4	0	0	4
LUIZ ALVES	2	6	2	0	6	0	0	0	0	2	0	2	0	2	4	0
LUZERNA	2	6	3	4	6	2	17	2	0	0	0	0	0	0	2	4
MACIEIRA	12	30	35	16	10	10	2	0	4	4	6	6	4	2	13	22
MAFRA	28	104	48	43	87	23	8	11	10	4	12	8	8	12	54	79
MAJOR GERCINO	10	10	6	20	23	10	2	2	8	2	2	3	2	0	6	8
MAJOR VIEIRA	4	32	20	14	44	26	30	2	6	6	0	6	2	6	5	16
MARACAJÁ	2	2	2	4	7	3	2	0	0	0	6	2	0	0	6	0
MARAVILHA	2	14	23	16	8	6	0	4	8	2	0	0	0	2	4	8
MAREMA	4	5	8	4	12	4	2	4	2	2	0	2	2	2	2	2
MASSARANDUBA	4	12	2	14	8	8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
MATOS COSTA	29	66	36	27	28	10	4	9	4	10	8	4	2	2	16	4
MELEIRO	0	6	0	2	16	0	0	2	0	0	9	4	0	2	10	4
MIRIM DOCE	0	2	4	2	8	2	0	2	2	2	8	2	0	0	2	6
MODELO	2	10	0	2	0	0	0	2	4	2	2	0	0	0	2	0
MONDAÍ	0	0	8	0	4	4	6	3	2	0	0	2	2	0	1	0
MONTE CARLO	34	54	21	11	10	4	14	12	8	4	2	4	2	2	8	8
MONTE CASTELO	22	45	41	26	44	27	16	4	4	6	4	8	12	20	10	18
MORRO DA FUMAÇA	0	4	0	0	1	0	6	2	2	2	4	0	2	0	2	0
MORRO GRANDE	4	8	10	13	14	3	6	12	4	0	8	4	4	0	4	10
NAVEGANTES	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	4	2	0
NOVA ERECHIM	0	4	6	2	0	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	0
NOVA ITABERABA	6	12	12	12	12	8	5	0	4	6	2	0	0	2	0	6
NOVA TRENTO	6	10	8	16	12	10	0	2	0	4	4	0	4	0	2	2
NOVA VENEZA	0	6	2	12	2	6	0	6	0	0	19	2	2	0	2	4

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ROMELÂNDIA	12	39	28	20	10	6	0	2	10	4	4	1	0	3	6	2
SALETE	4	2	8	34	16	10	2	0	0	0	0	2	0	0	7	6
SALTINHO	12	17	26	8	6	2	0	6	2	2	6	4	0	6	6	6
SALTO VELOSO	10	14	26	4	8	3	4	6	2	0	2	2	0	2	2	6
SANGÃO	10	8	2	2	0	2	4	2	0	0	2	0	2	0	0	6
SANTA CECÍLIA	98	208	110	72	103	32	28	20	22	33	45	51	18	20	67	89
SANTA HELENA	0	12	4	6	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0
SANTA ROSA DE LIMA	29	8	11	10	14	20	24	12	10	2	10	10	0	0	19	20
SANTA ROSA DO SUL	2	2	6	4	2	2	0	0	0	0	8	1	0	0	2	0
SANTA TEREZINHA	24	32	51	40	114	45	36	21	10	6	2	18	10	7	28	18
SANTA TEREZINHA DO PROGRESSO	6	27	12	2	8	2	0	2	4	0	2	0	0	0	0	2
SANTIAGO DO SUL	4	10	0	2	6	2	0	4	0	4	0	2	0	0	6	2
SANTO AMARO DA IMPERATRIZ	0	4	4	4	4	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0
SÃO BERNARDINO	12	32	27	6	16	18	6	8	8	0	2	8	2	0	0	6
SÃO BENTO DO SUL	12	14	2	6	12	0	4	2	2	0	6	2	2	2	2	6
SÃO BONIFÁCIO	8	8	17	20	22	16	14	20	10	4	8	2	2	4	8	12
SÃO CARLOS	0	7	8	4	4	2	0	2	2	2	0	2	4	0	0	0
SÃO CRISTOVÃO DO SUL	18	58	22	14	6	4	4	2	2	0	4	2	6	2	4	60
SÃO DOMINGOS	10	16	6	10	11	6	6	4	2	0	4	8	0	0	8	6
SÃO FRANCISCO DO SUL	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SÃO JOÃO DO OESTE	4	0	4	6	2	2	2	2	0	0	4	4	2	0	4	2
SÃO JOÃO BATISTA	1	12	0	2	9	8	0	0	0	6	0	0	0	2	6	2
SÃO JOÃO DO ITAPERIÚ	2	2	0	0	4	4	0	2	2	0	0	6	0	0	0	0
SÃO JOÃO DO SUL	0	21	2	0	6	4	4	3	0	0	13	3	0	0	6	6
SÃO JOAQUIM	98	274	66	95	161	126	101	174	159	92	117	57	42	28	405	230

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
SÃO JOSÉ	0	0	2	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SÃO JOSÉ DO CEDRO	9	41	34	28	25	13	4	2	4	10	4	6	8	2	13	2
SÃO JOSÉ DO CERRITO	48	185	93	94	84	38	51	62	42	18	34	22	4	9	100	93
SÃO LOURENÇO DO OESTE	48	58	75	33	58	28	6	12	14	16	15	12	6	0	22	24
SÃO LUDGERO	6	6	18	2	2	2	5	2	0	4	0	0	0	0	4	2
SÃO MARTINHO	12	16	13	19	28	20	13	4	6	8	12	2	6	4	10	6
SÃO MIGUEL DA BOA VISTA	0	0	2	0	2	2	0	2	0	0	0	1	0	0	6	0
SÃO MIGUEL DO OESTE	6	11	16	12	8	8	2	0	4	2	0	4	4	0	6	0
SÃO PEDRO DE ALCÂNTARA	4	4	6	8	2	4	2	1	0	0	0	2	0	0	0	6
SAUDADES	10	10	15	4	8	0	0	2	2	0	0	4	0	0	0	2
SEARA	11	22	27	18	6	10	4	17	4	6	0	2	4	2	12	8
SERRA ALTA	6	4	9	2	10	4	4	4	0	0	2	0	2	2	8	8
SIDERÓPOLIS	10	12	22	15	21	12	2	4	8	8	12	16	6	2	19	14
SOMBRIO	4	4	4	4	6	6	0	0	2	2	10	4	2	0	4	4
SUL BRASIL	10	22	9	2	6	0	4	8	2	2	4	0	2	4	8	2
TAIÓ	2	15	14	24	41	10	2	6	6	6	4	13	6	2	0	10
TANGARÁ	12	106	90	30	28	5	14	12	20	35	8	12	6	10	20	36
TIGRINHOS	6	8	0	0	4	2	0	4	10	0	0	0	0	0	0	0
TIJUCAS	4	8	6	8	11	0	4	2	4	0	4	4	0	0	6	2
TIMBÉ DO SUL	8	4	6	6	14	4	5	6	12	0	4	2	0	2	13	10
TIMBÓ	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	2
TIMBÓ GRANDE	62	103	57	46	73	41	16	8	12	8	4	12	10	6	27	26
TRÊS BARRAS	10	36	22	20	30	6	10	2	30	8	8	17	4	8	19	36
TREVISO	0	2	2	7	4	6	0	2	4	6	2	0	2	0	2	8
TREZE DE MAIO	2	10	8	10	11	2	4	6	4	2	8	10	0	2	22	6

Municípios	ANOS															
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TREZE TILIAS	2	23	6	10	16	13	4	4	0	0	0	6	0	6	2	10
TROMBUDO CENTRAL	0	2	0	4	2	2	2	2	4	2	0	0	2	0	6	4
TUBARÃO	2	18	3	14	6	4	8	4	2	4	0	0	0	0	4	2
TUNÁPOLIS	2	6	14	4	8	0	0	12	0	0	2	4	0	0	2	0
TURVO	0	8	2	4	15	2	4	0	0	0	8	1	2	0	2	2
UNIÃO DO OESTE	4	6	8	6	2	0	0	4	0	0	0	2	0	0	2	4
URUBICI	10	47	13	5	28	12	6	15	4	2	8	6	4	2	35	26
URUPEMA	15	36	8	13	17	20	14	8	14	6	6	8	4	6	66	8
URUSSANGA	6	24	14	14	26	10	12	14	2	4	4	4	2	2	20	8
VARGEÃO	17	24	15	4	16	6	2	0	4	6	0	6	2	0	24	8
VARGEM	26	76	40	34	75	33	22	14	2	0	8	11	0	6	27	32
VARGEM BONITA	24	36	33	10	4	11	2	8	4	2	0	6	4	2	12	8
VIDAL RAMOS	4	2	4	4	14	8	6	6	2	0	2	0	4	0	4	8
VIDEIRA	16	58	40	13	14	4	6	10	0	8	8	12	6	2	20	20
VITOR MEIRELES	0	14	10	31	25	20	9	16	2	6	2	2	2	10	14	16
WITMARSUM	2	2	2	4	8	6	4	2	2	0	2	0	0	4	4	2
XANXERÊ	16	10	18	3	18	12	4	2	6	0	4	2	4	6	6	12
XAVANTINA	4	26	14	8	16	12	4	4	4	0	10	0	4	2	9	12
XAXIM	4	23	20	16	19	4	18	4	0	4	8	2	2	2	2	7
ZORTÉA	4	5	2	5	2	2	3	0	8	6	0	4	2	0	4	4

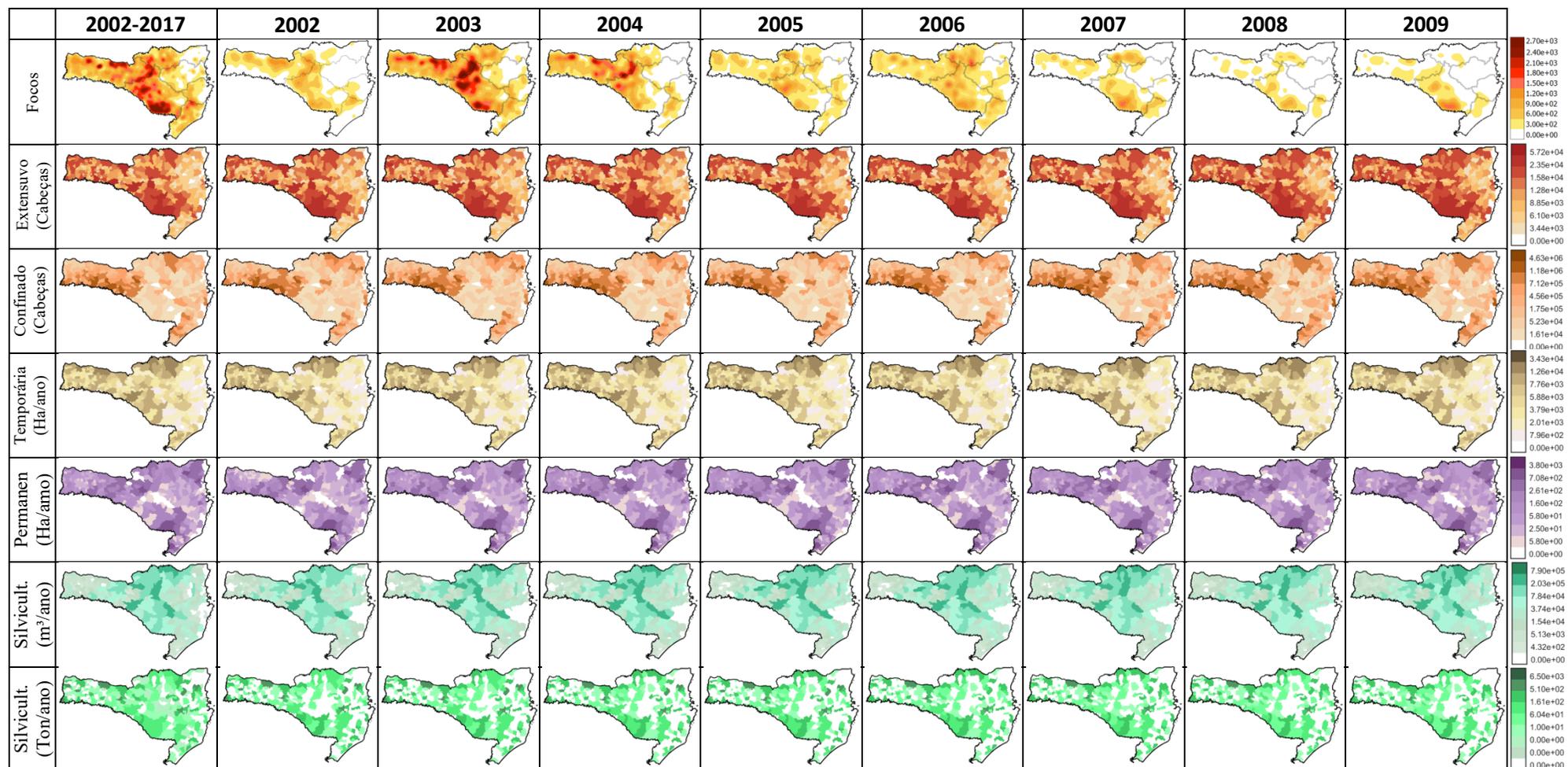
**APÊNDICE B: DISTRIBUIÇÃO DOS FOCOS DE CALOR ENTRE AS
MESORREGIÕES E PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA**

Tabela 3 – Distribuição anual dos focos de calor entre as mesorregiões e para o estado de Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2017.

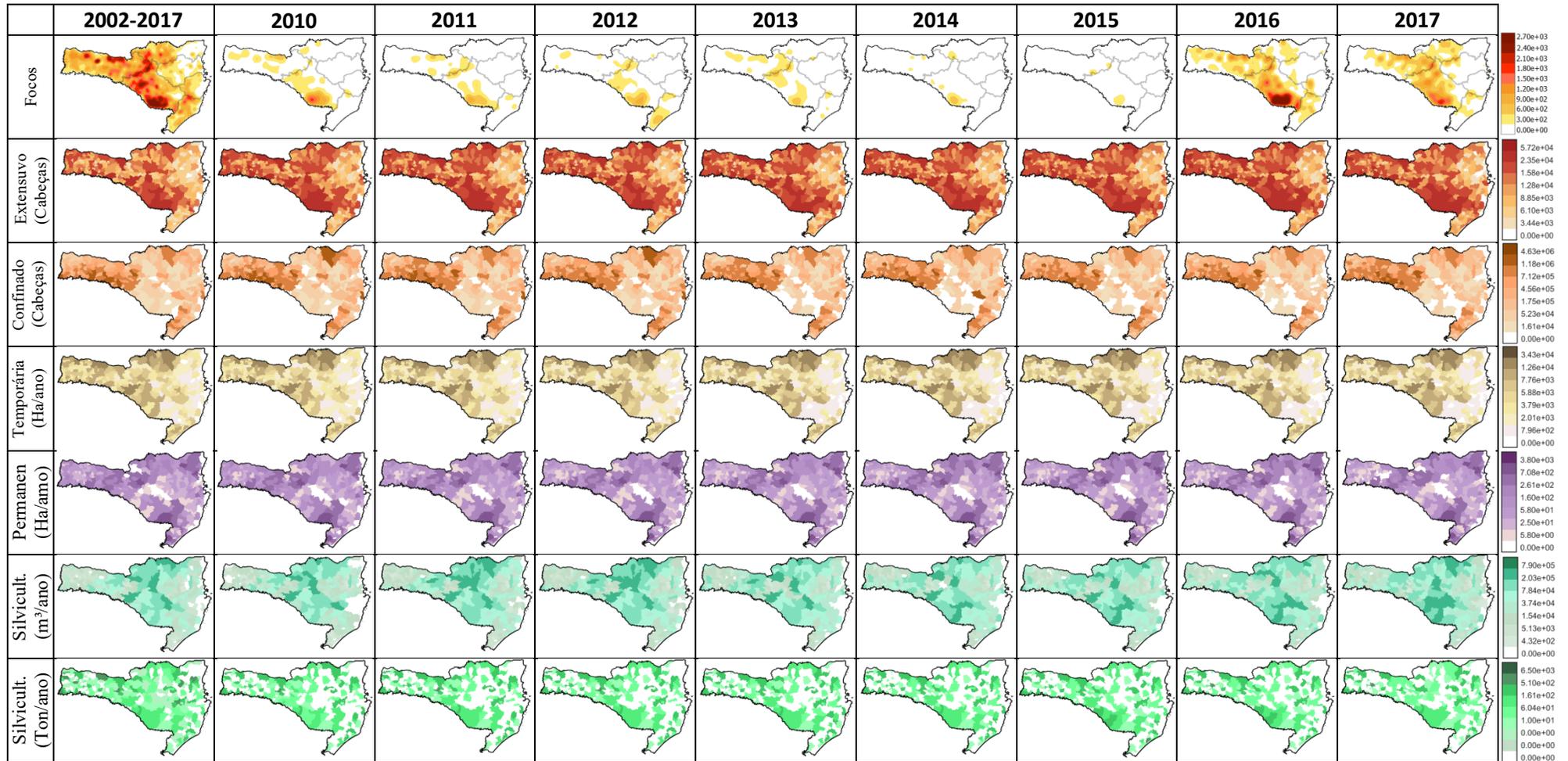
Ano	Oeste	Norte	Serrana	V. do Itajaí	Gd. Fpólis	Sul	Santa Catarina
2002	1.374	362	1.186	108	147	254	3.431
2003	3.097	966	2.916	346	318	479	8.122
2004	2.605	556	1.490	196	184	348	5.379
2005	1.251	518	1.200	301	240	360	3.870
2006	1.523	875	1.684	434	250	482	5.248
2007	836	495	1.146	185	132	302	3.096
2008	581	282	773	117	81	226	2.060
2009	764	183	1.044	118	100	207	2.416
2010	625	189	1.001	100	62	137	2.114
2011	593	158	695	88	38	148	1.720
2012	518	139	728	119	46	311	1.861
2013	594	184	614	119	55	175	1.741
2014	340	166	463	88	26	77	1.160
2015	287	126	303	66	12	66	860
2016	1.221	384	2.273	195	157	323	4.553
2017	1.076	441	1.618	260	88	255	3.738

APÊNDICE C: DISTRIBUIÇÕES DOS FOCOS DE CALOR E DAS CLASSES AGROPECUÁRIAS EM SC DE 2002 A 2017

Quadro 1 - Distribuições dos focos de calor e das classes agropecuárias em Santa Catarina de 2002 a 2017.



Quadro1 (continuação)



**APÊNDICE D: EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS
ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA DE 2002 A 2017**

Tabela 4 – Emissões anuais dos poluentes atmosféricos originadas pelas queimadas em Santa Catarina de 2002 a 2017.

Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	8.272.774	442.474	24.083	2.208	6.460	23.289	3.244	23.767	2.560	44.599
2003	19.516.364	1.043.040	56.716	5.227	15.259	54.800	7.695	56.092	6.041	105.094
2004	13.073.243	697.525	38.111	3.464	10.142	36.720	5.095	37.379	4.037	70.213
2005	10.534.264	567.558	31.104	2.741	8.245	30.218	4.200	30.105	3.271	56.870
2006	14.095.929	761.988	41.733	3.666	11.098	40.620	5.726	40.250	4.388	76.117
2007	7.937.856	425.882	23.373	2.067	6.179	22.595	3.154	22.599	2.459	42.637
2008	5.487.300	296.659	16.215	1.433	4.334	15.804	2.240	15.717	1.710	29.656
2009	5.593.162	298.624	16.271	1.488	4.364	15.721	2.207	16.067	1.732	30.070
2010	4.500.308	236.698	12.896	1.209	3.454	12.332	1.713	12.950	1.384	23.994
2011	3.816.970	202.555	11.013	1.026	2.957	10.600	1.465	10.998	1.177	20.516
2012	4.119.132	218.967	11.985	1.090	3.185	11.489	1.621	11.718	1.271	21.968
2013	4.378.834	236.306	12.952	1.142	3.449	12.545	1.812	12.432	1.364	23.493
2014	2.460.764	131.939	7.185	646	1.936	7.027	976	7.170	767	13.343
2015	1.943.380	104.149	5.664	512	1.529	5.545	764	5.677	605	10.557
2016	9.593.143	509.216	27.399	2.594	7.562	26.893	3.694	28.596	2.989	52.283
2017	9.767.661	524.802	28.419	2.580	7.758	28.044	3.882	28.860	3.058	53.365

**APÊNDICE E: EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS
ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS POR MESORREGIÃO CATARINENSE DE
2002 A 2017**

Tabela 5 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Oeste Catarinense de 2002 a 2017.

Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	2.583.720	133.920	7.337	702	1.928	6.845	941	7.271	783	13.549
2003	5.789.863	299.691	16.430	1.575	4.312	15.277	2.112	16.243	1.752	30.281
2004	4.707.669	242.196	13.315	1.276	3.469	12.322	1.680	13.184	1.420	24.525
2005	2.011.586	101.772	5.632	547	1.444	5.092	698	5.534	600	10.277
2006	2.733.463	141.272	7.793	736	2.019	7.197	1.000	7.573	825	14.189
2007	1.385.781	70.645	3.910	375	1.002	3.561	484	3.819	415	7.128
2008	1.021.485	53.125	2.912	277	768	2.712	387	2.855	310	5.331
2009	1.203.293	61.263	3.373	330	877	3.069	432	3.326	361	6.173
2010	1.060.821	54.056	2.988	287	769	2.726	374	2.934	318	5.456
2011	1.133.560	59.121	3.236	307	852	3.039	416	3.199	344	5.980
2012	951.106	49.366	2.737	252	702	2.533	349	2.621	287	4.940
2013	1.066.759	55.677	3.090	282	795	2.859	413	2.914	324	5.511
2014	557.935	29.066	1.569	153	430	1.506	212	1.639	172	2.976
2015	528.703	27.620	1.495	143	406	1.439	195	1.554	163	2.838
2016	2.583.720	133.920	7.337	702	1.928	6.845	941	7.271	783	13.549
2017	5.789.863	299.691	16.430	1.575	4.312	15.277	2.112	16.243	1.752	30.281

Tabela 6 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Norte Catarinense de 2002 a 2017.

Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	1.310.200	72.317	3.980	329	1.055	3.933	568	3.728	413	7.130
2003	3.661.771	202.069	11.055	936	2.953	10.960	1.546	10.520	1.153	20.094
2004	2.457.643	136.382	7.491	618	1.984	7.457	1.038	7.047	775	13.540
2005	2.352.574	131.116	7.205	588	1.908	7.192	1.005	6.742	743	12.988
2006	3.728.036	206.204	11.377	927	2.990	11.276	1.577	10.626	1.174	20.411
2007	2.275.513	126.140	6.960	565	1.828	6.907	963	6.483	717	12.481
2008	1.299.452	72.486	3.997	322	1.054	3.982	566	3.700	411	7.138
2009	818.524	45.578	2.517	202	661	2.500	353	2.322	258	4.489
2010	780.813	43.314	2.391	193	630	2.372	340	2.220	247	4.263
2011	725.080	40.550	2.216	185	591	2.218	306	2.091	229	4.038
2012	570.747	31.663	1.753	141	457	1.735	242	1.613	180	3.120
2013	838.296	46.903	2.574	210	685	2.572	367	2.397	266	4.626
2014	563.841	31.178	1.720	140	451	1.709	235	1.614	177	3.097
2015	450.846	24.736	1.363	113	358	1.348	183	1.295	141	2.472
2016	1.397.805	76.789	4.201	355	1.124	4.185	581	4.066	441	7.689
2017	1.603.066	87.740	4.789	410	1.289	4.764	666	4.678	505	8.803

Tabela 7 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Serrana de 2002 a 2017.

Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	2.570.264	136.534	7.245	726	2.041	7.089	979	7.678	798	14.083
2003	6.405.514	340.620	18.105	1.799	5.102	17.733	2.487	19.128	1.993	35.025
2004	3.487.164	185.758	9.950	958	2.767	9.745	1.364	10.345	1.086	19.006
2005	2.926.221	155.881	8.387	793	2.314	8.218	1.145	8.666	912	15.926
2006	3.754.234	200.411	10.711	1.035	2.991	10.518	1.475	11.168	1.171	20.520
2007	2.273.874	119.655	6.405	632	1.785	6.206	880	6.733	705	12.266
2008	1.540.795	81.311	4.333	431	1.219	4.220	601	4.591	479	8.349
2009	2.055.089	108.186	5.747	579	1.622	5.606	781	6.166	638	11.185
2010	1.778.060	91.400	4.853	508	1.366	4.654	633	5.346	545	9.561
2011	1.204.524	62.177	3.295	346	934	3.162	443	3.610	371	6.467
2012	1.529.289	80.438	4.301	425	1.196	4.182	573	4.557	473	8.303
2013	1.290.961	68.495	3.697	349	1.024	3.591	536	3.781	404	6.908
2014	766.225	40.164	2.152	211	597	2.097	285	2.297	237	4.159
2015	553.361	29.103	1.550	154	437	1.521	209	1.675	172	3.020
2016	3.646.552	187.476	9.849	1.051	2.835	9.626	1.262	11.312	1.126	19.951
2017	3.484.650	183.466	9.804	956	2.738	9.648	1.295	10.553	1.084	19.074

Tabela 8 - Emissões associadas às queimadas na mesorregião Vale do Itajaí de 2002 a 2017.

Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	332.337	18.275	1.017	82	263	991	144	921	104	1.782
2003	1.135.829	62.764	3.486	281	912	3.404	516	3.148	358	6.076
2004	622.178	34.702	1.892	163	511	1.866	279	1.761	197	3.403
2005	1.197.796	66.250	3.675	295	957	3.617	518	3.362	377	6.494
2006	1.505.993	83.572	4.617	376	1.219	4.545	679	4.223	476	8.139
2007	604.241	33.350	1.853	149	482	1.812	266	1.681	190	3.248
2008	551.888	30.775	1.694	138	446	1.686	236	1.571	174	3.040
2009	381.025	21.088	1.173	94	306	1.147	172	1.055	120	2.043
2010	177.680	9.390	529	45	134	484	78	464	54	893
2011	340.128	18.740	1.042	84	269	1.020	145	950	107	1.838
2012	295.037	16.089	893	74	234	861	133	813	92	1.557
2013	431.846	24.101	1.312	113	354	1.299	188	1.232	136	2.382
2014	246.805	13.567	752	61	196	736	106	693	77	1.332
2015	197.950	10.971	608	49	159	599	88	554	62	1.070
2016	718.672	39.576	2.177	180	576	2.160	300	2.066	226	3.940
2017	1.090.961	60.595	3.333	272	886	3.322	477	3.128	346	5.981

Tabela 9. Emissões associadas às queimadas na mesorregião Grande Florianópolis de 2002 a 2017.

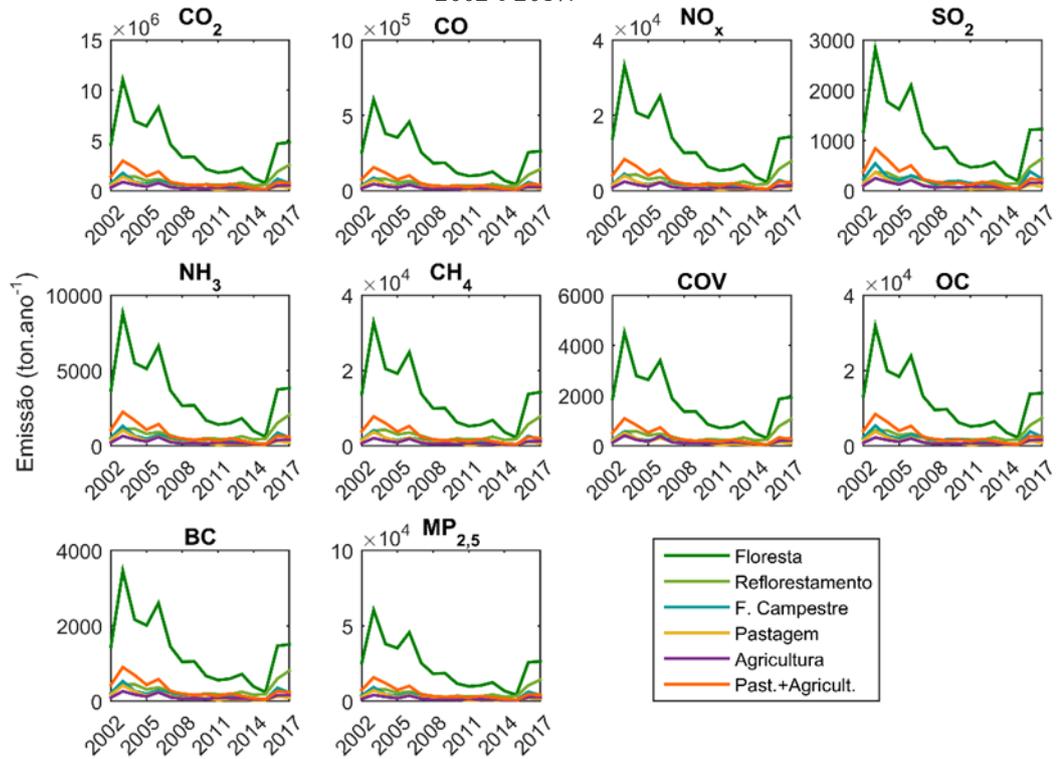
Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	758.172	42.305	2.343	185	611	2.336	323	2.155	239	4.174
2003	1.535.349	85.390	4.730	376	1.233	4.694	655	4.348	484	8.414
2004	959.877	53.417	2.961	234	770	2.942	407	2.720	302	5.269
2005	1.264.570	70.486	3.901	309	1.017	3.892	533	3.606	399	6.975
2006	1.308.502	72.929	4.041	319	1.051	4.024	554	3.718	413	7.202
2007	625.468	34.708	1.925	153	499	1.909	261	1.772	197	3.432
2008	384.347	21.360	1.185	94	307	1.176	161	1.089	121	2.111
2009	583.237	32.511	1.800	142	469	1.795	246	1.662	184	3.216
2010	345.429	19.329	1.069	84	280	1.069	149	984	109	1.904
2011	144.981	7.975	443	36	114	435	59	409	45	790
2012	222.733	12.384	686	55	179	682	93	634	70	1.226
2013	276.458	15.343	851	68	220	844	115	782	87	1.516
2014	126.669	7.059	391	31	102	390	53	360	40	698
2015	60.072	3.344	184	15	48	185	25	173	19	333
2016	724.939	40.291	2.216	180	586	2.216	304	2.091	229	4.011
2017	428.621	23.819	1.313	106	346	1.311	181	1.231	135	2.364

Tabela 10 - Emissões associadas às queimadas no Sul Catarinense de 2002 a 2017.

Ano	Emissão (ton.ano ⁻¹)									
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	NH ₃	CH ₄	COV	OC	BC	MP _{2,5}
2002	718.080	39.123	2.160	183	561	2.096	289	2.013	223	3.881
2003	988.037	52.506	2.911	259	746	2.732	380	2.706	301	5.204
2004	838.713	45.069	2.501	215	642	2.388	328	2.322	258	4.469
2005	781.517	42.052	2.304	208	605	2.208	301	2.196	240	4.210
2006	1.065.701	57.600	3.195	272	827	3.059	441	2.942	330	5.656
2007	772.979	41.383	2.320	193	583	2.199	300	2.111	237	4.082
2008	689.332	37.601	2.094	171	539	2.027	288	1.911	215	3.688
2009	551.993	29.997	1.662	140	430	1.604	224	1.535	171	2.963
2010	357.505	19.209	1.066	90	274	1.027	138	1.003	110	1.916
2011	268.697	13.992	781	70	197	726	96	740	81	1.402
2012	550.219	29.028	1.615	144	417	1.495	230	1.480	168	2.822
2013	474.515	25.788	1.428	121	370	1.381	193	1.325	147	2.549
2014	199.289	10.905	600	51	159	589	84	567	62	1.081
2015	152.448	8.375	464	38	120	453	64	426	48	825
2016	842.749	46.508	2.567	211	679	2.524	375	2.374	266	4.548
2017	799.997	44.384	2.453	198	647	2.425	356	2.259	253	4.342

**APÊNDICE F: EMISSÕES ANUAIS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS
ORIGINADOS PELAS QUEIMADAS EM SANTA CATARINA ENTRE 2002 E 2017**

Figura 35 – Distribuição anual das emissões atmosféricas originadas pelas queimadas em Santa Catarina entre 2002 e 2017.



APÊNDICE G: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS EMISSÕES ANUAIS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADOS PELAS QUEIMADAS NOS MUNICÍPIOS DE SANTA CATARINA ENTRE 2002 E 2017

Figura 36 - Distribuição anual da emissão de dióxido de carbono (CO₂) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

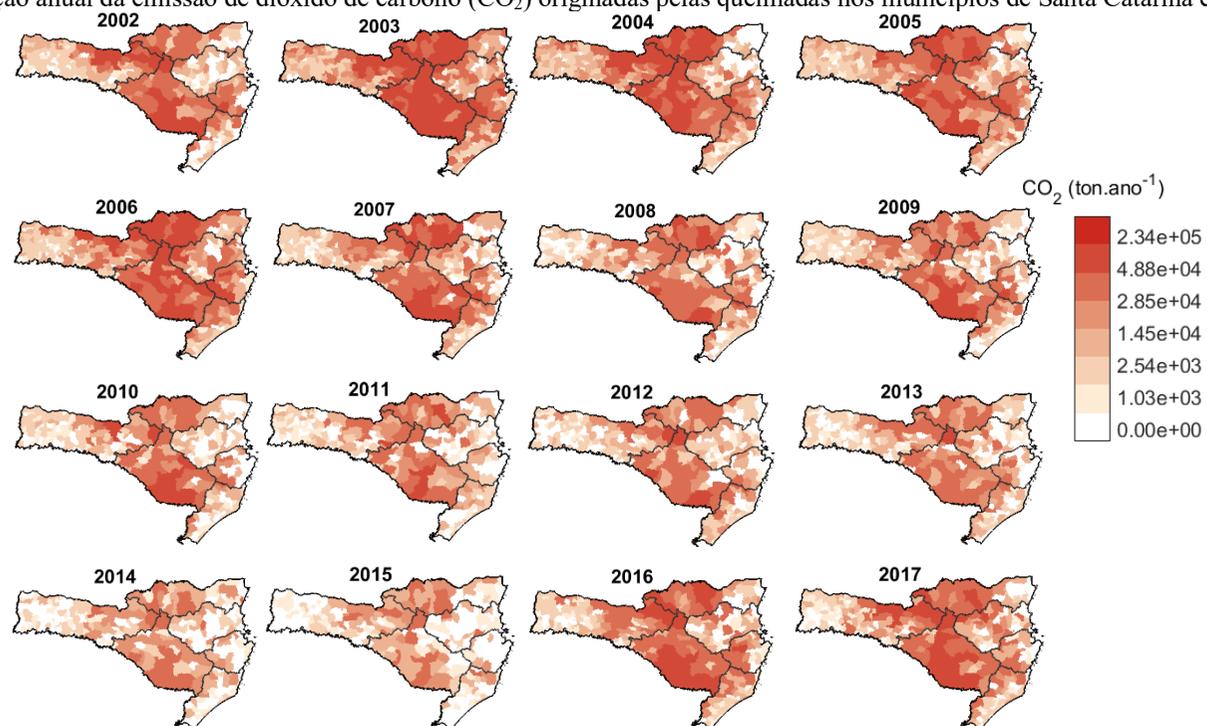


Figura 37 - Distribuição anual da emissão de monóxido de carbono (CO) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

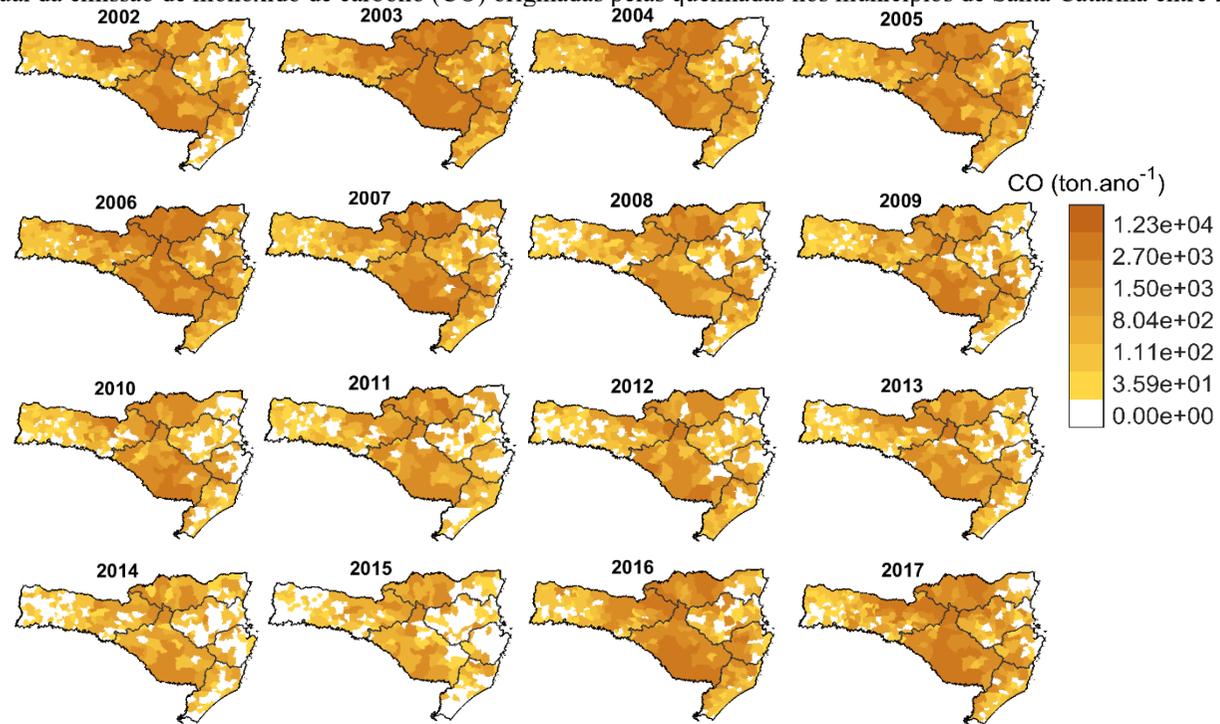


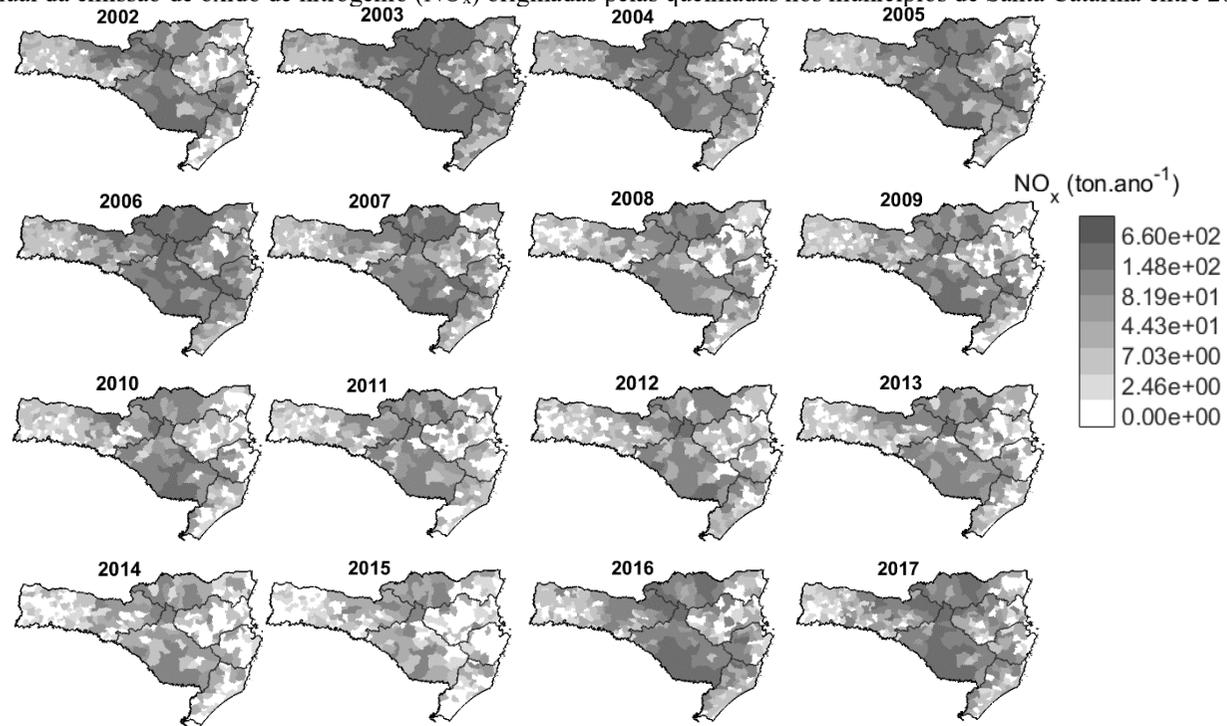
Figura 38 - Distribuição anual da emissão de óxido de nitrogênio (NO_x) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

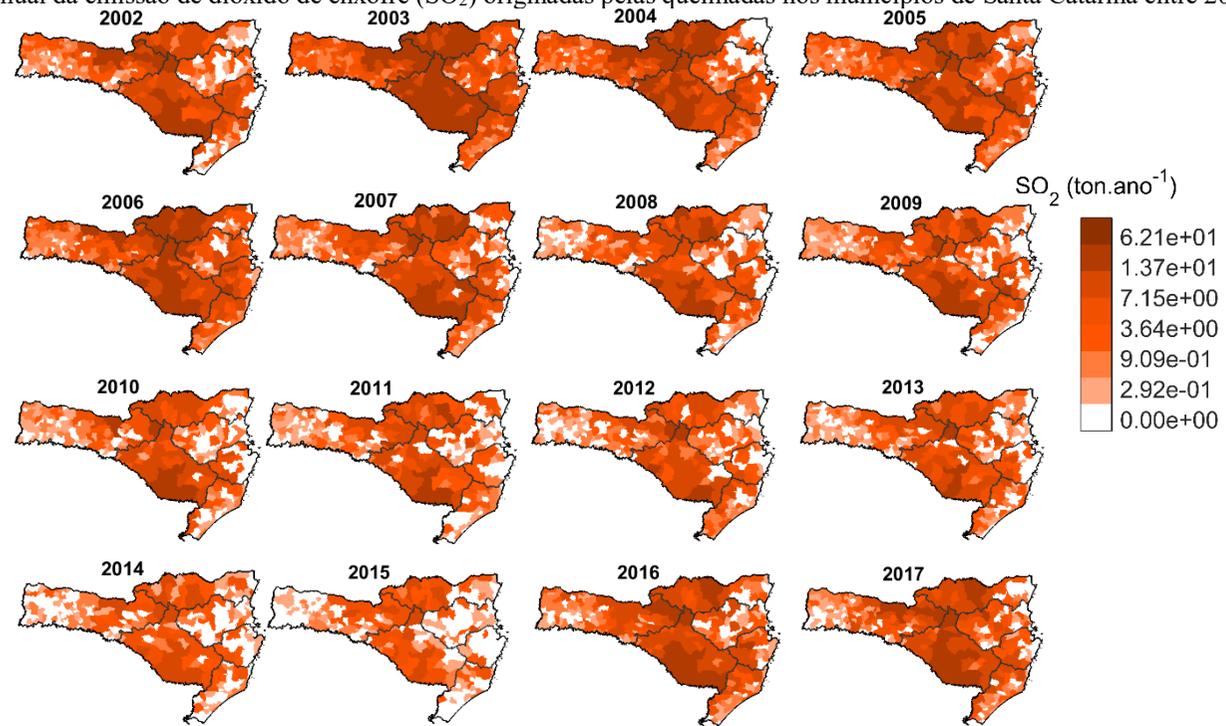
Figura 39 - Distribuição anual da emissão de dióxido de enxofre (SO₂) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

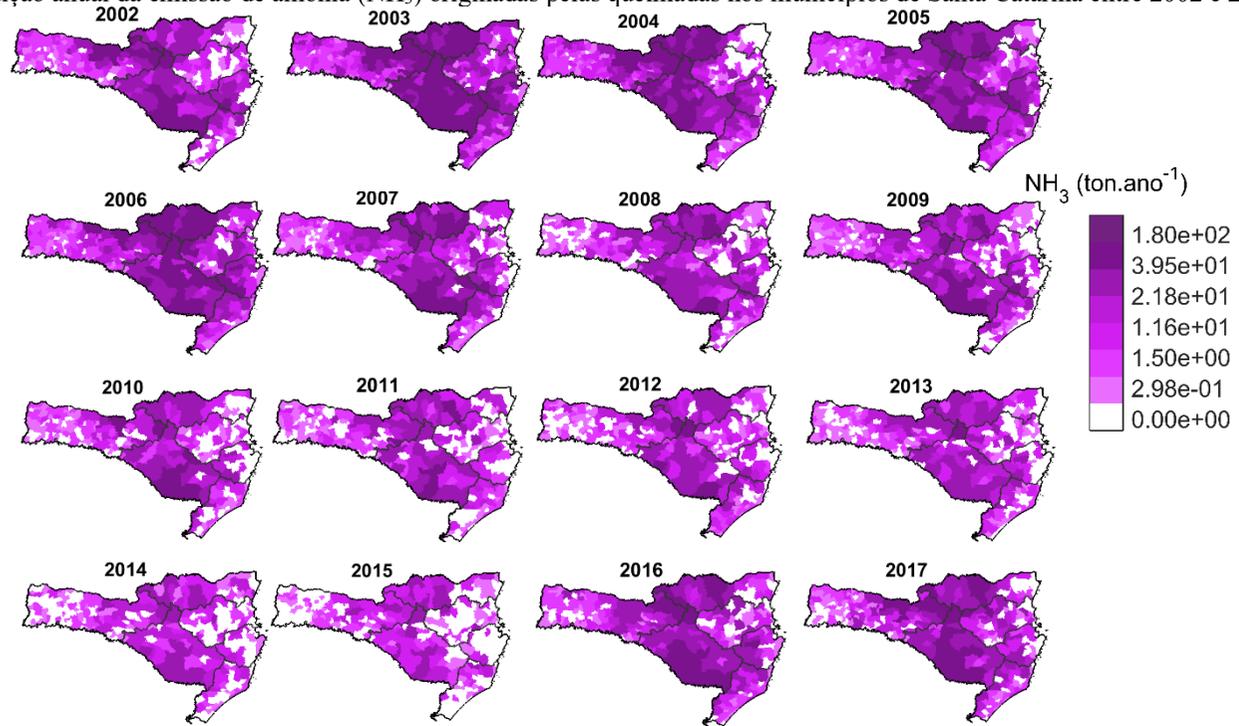
Figura 40 - Distribuição anual da emissão de amônia (NH_3) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

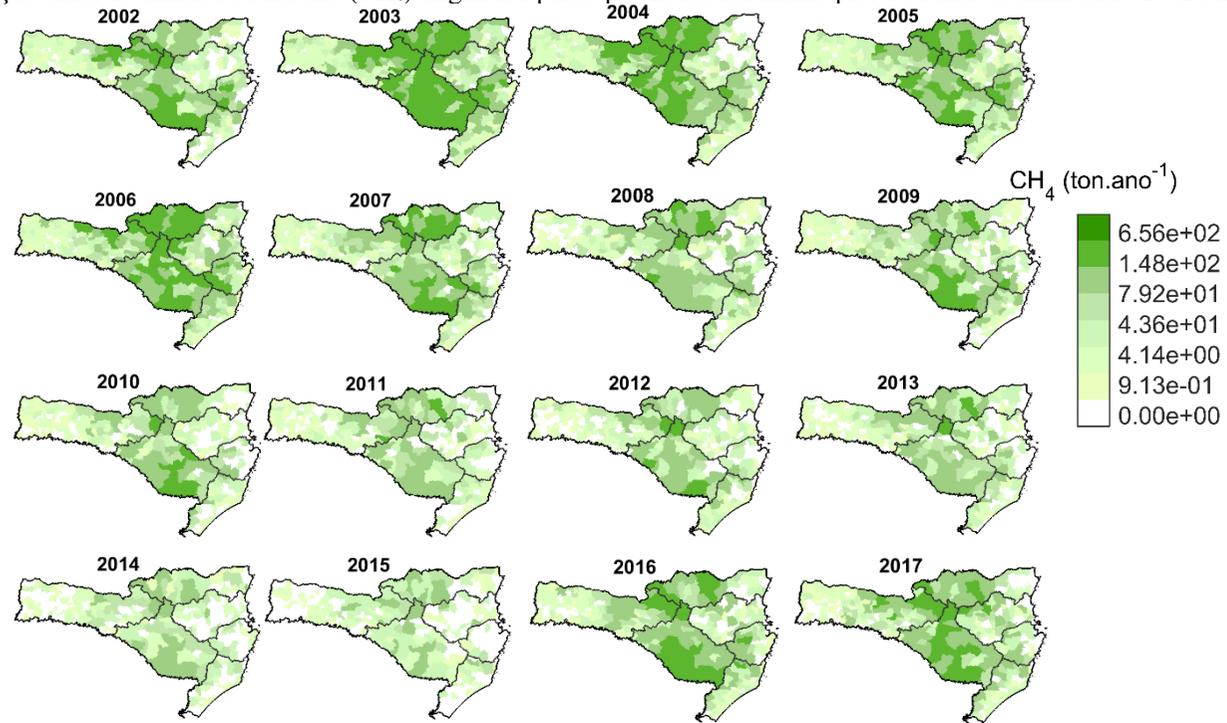
Figura 41 - Distribuição anual da emissão de metano (CH₄) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

Figura 42 - Distribuição anual da emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

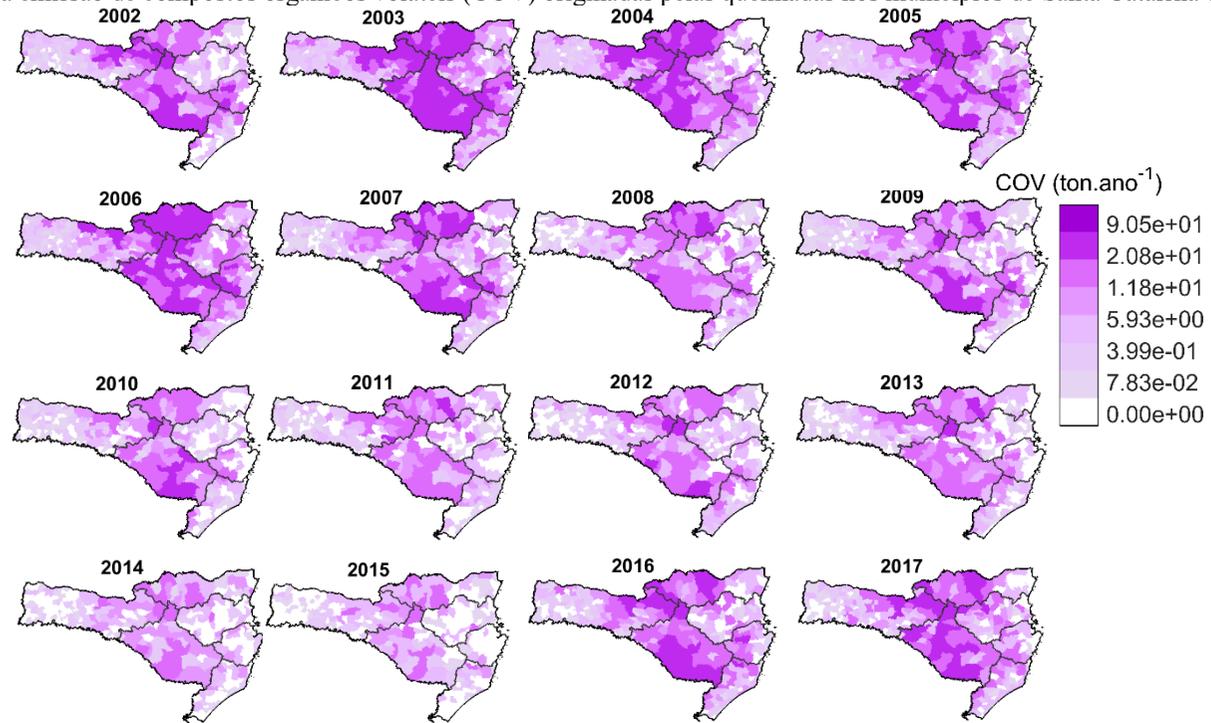


Figura 43 - Distribuição anual da emissão carbono orgânico (OC) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

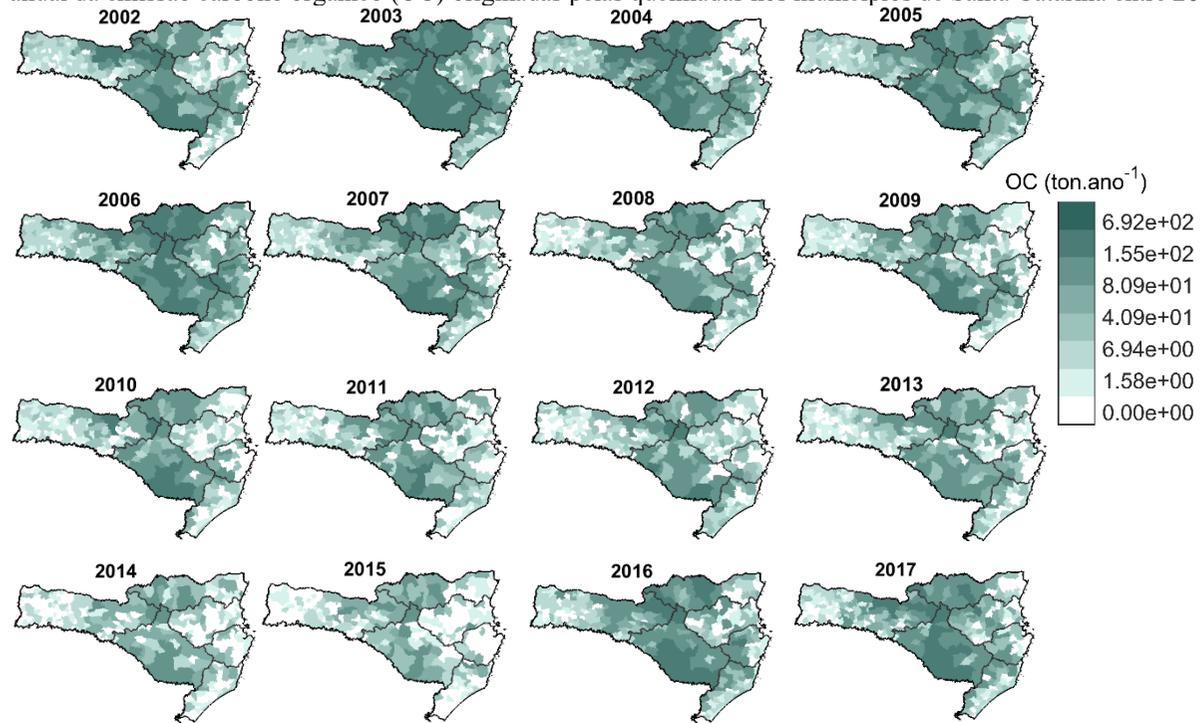


Figura 44 - Distribuição anual da emissão de carbono negro (BC) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

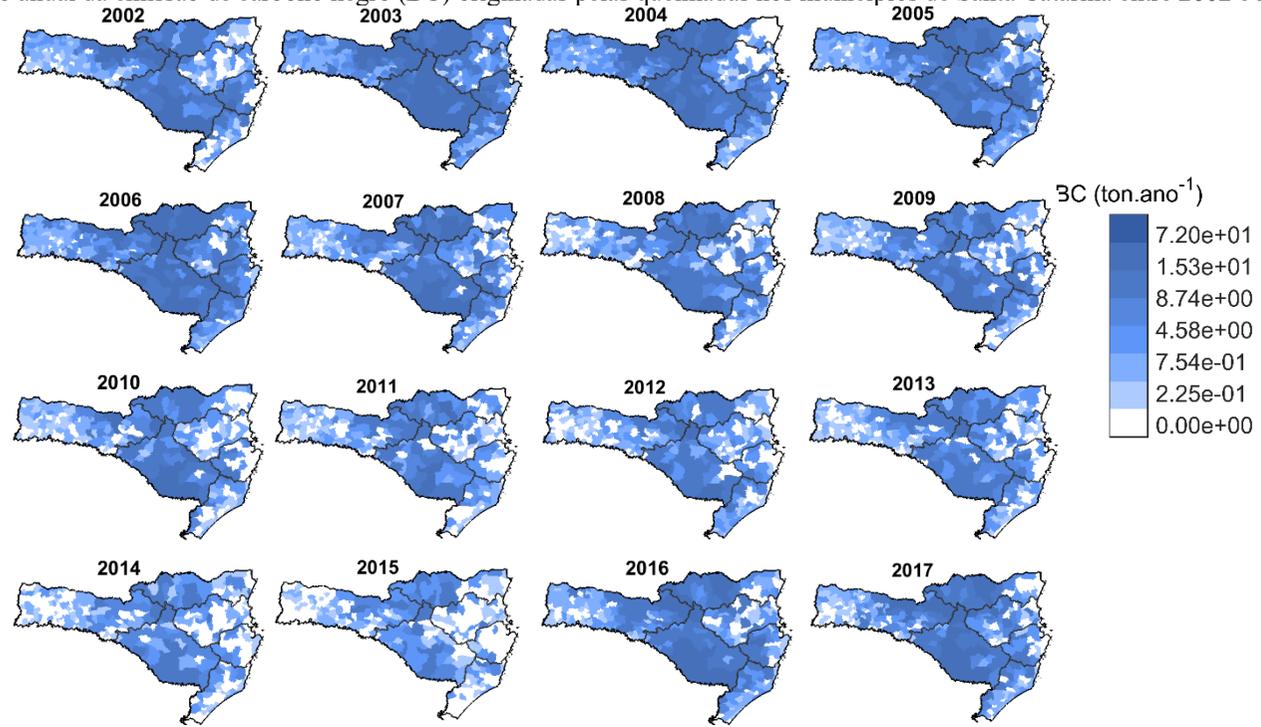
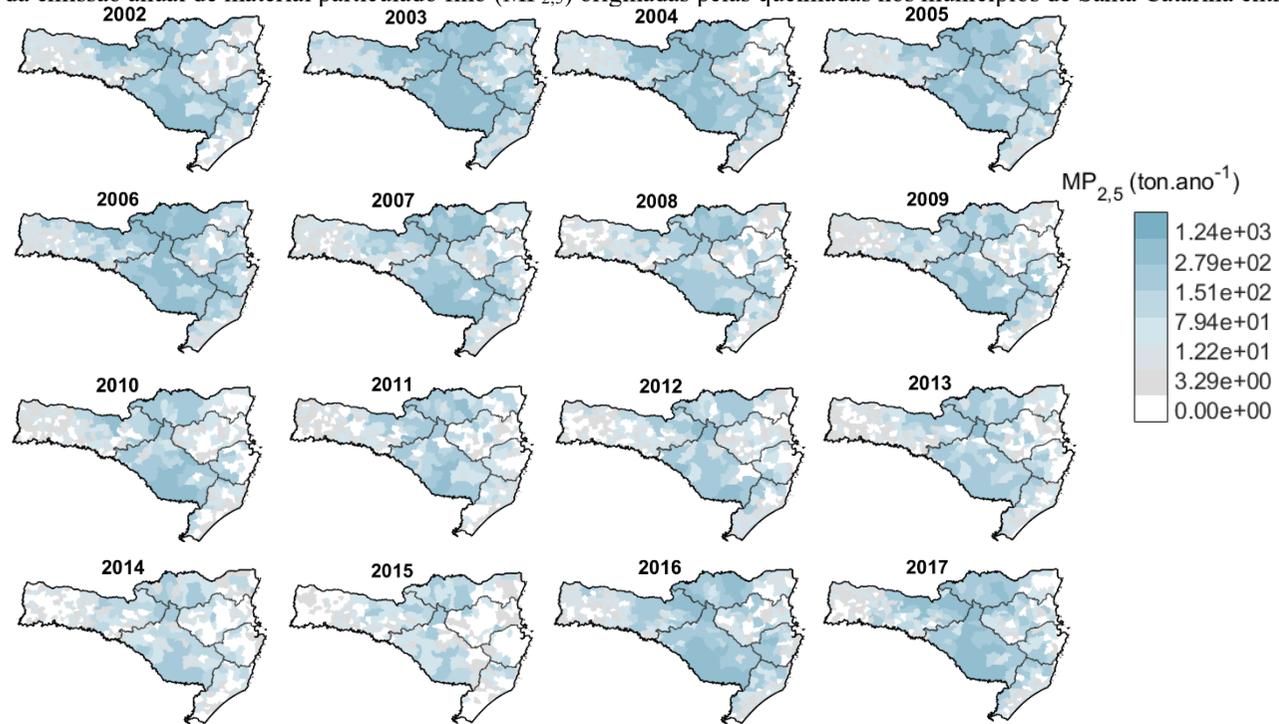


Figura 45 - Distribuição espacial da emissão anual de material particulado fino ($MP_{2,5}$) originadas pelas queimadas nos municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.



APÊNDICE H: DISTRIBUIÇÃO DAS CONSOLIDAÇÕES MENSAIS DAS EMISSÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ORIGINADAS PELAS QUEIMADAS NOS MUNICÍPIOS DE SANTA CATARINA ENTRE 2002 E 2017

Figura 46 – Distribuição mensal da emissão de dióxido de carbono (CO₂) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

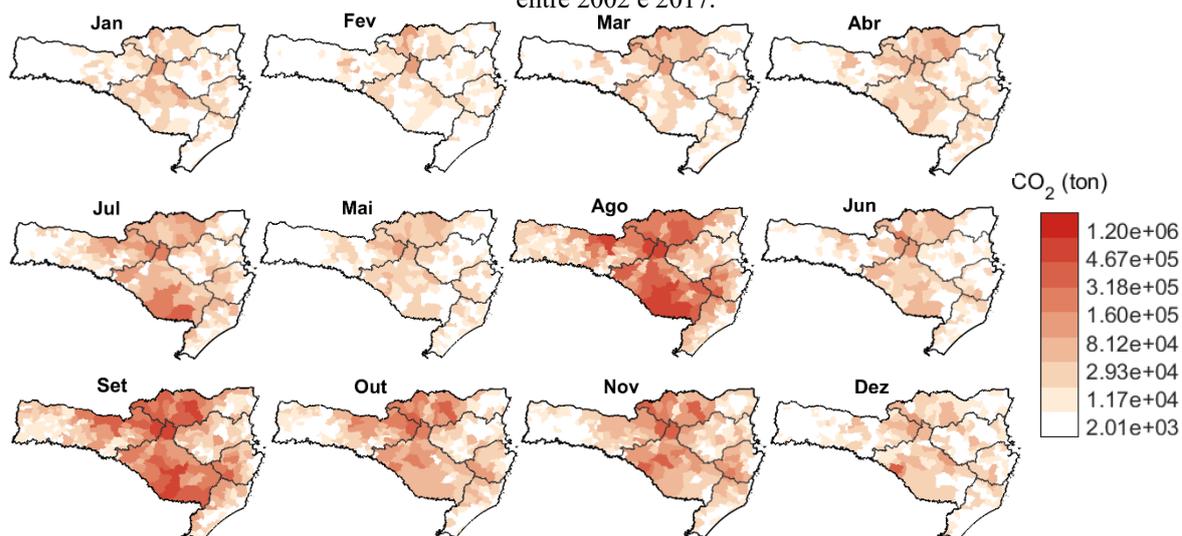


Figura 47 - Distribuição mensal da emissão de monóxido de carbono (CO) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

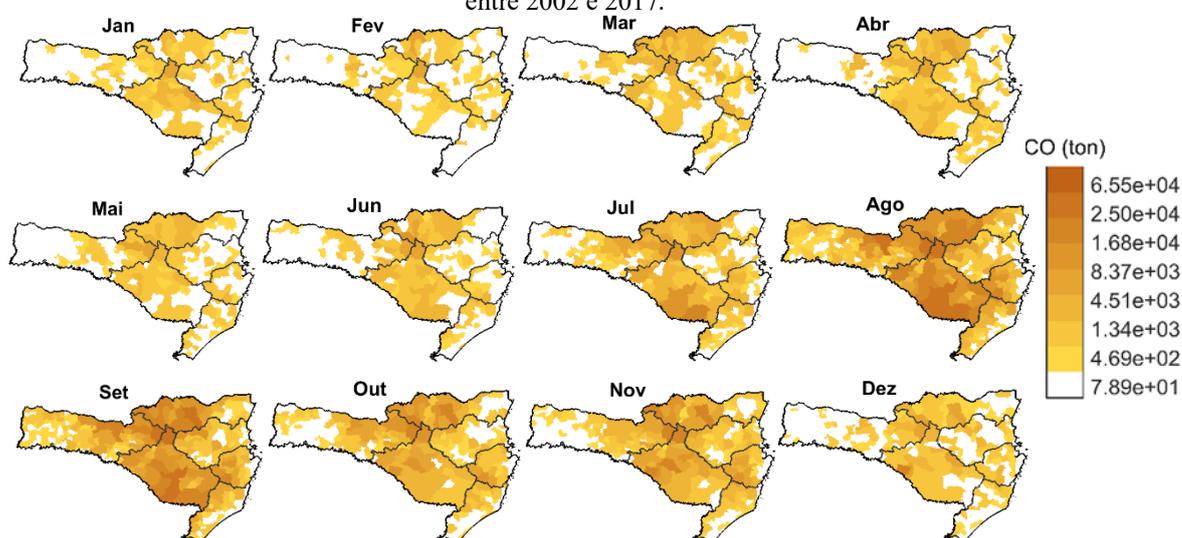


Figura 48 - Distribuição mensal da emissão de óxido de nitrogênio (NO_x) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

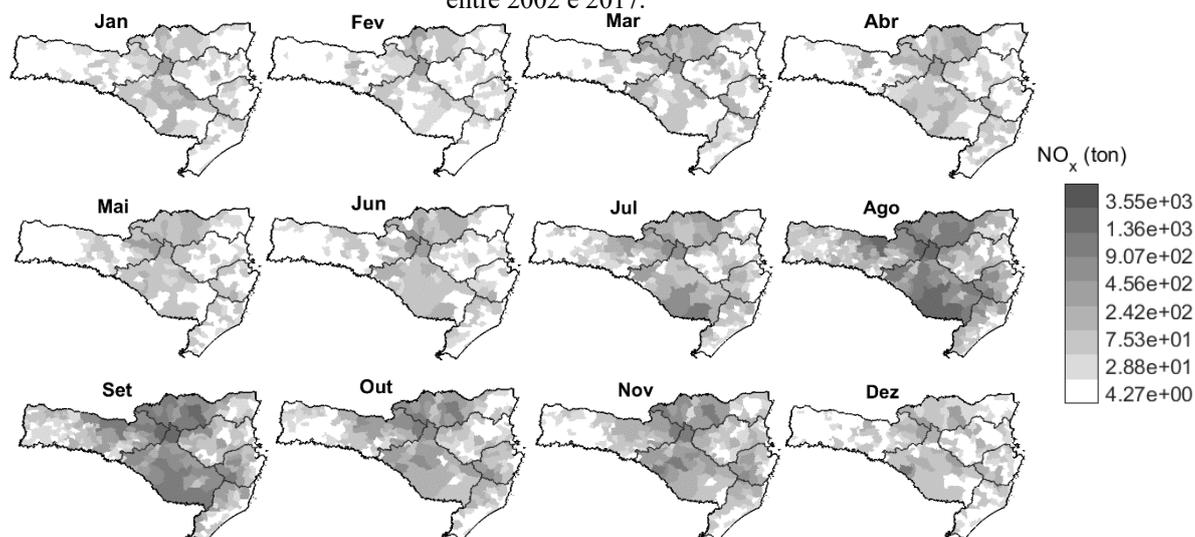


Figura 49 - Distribuição mensal da emissão de dióxido de enxofre (SO_2) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

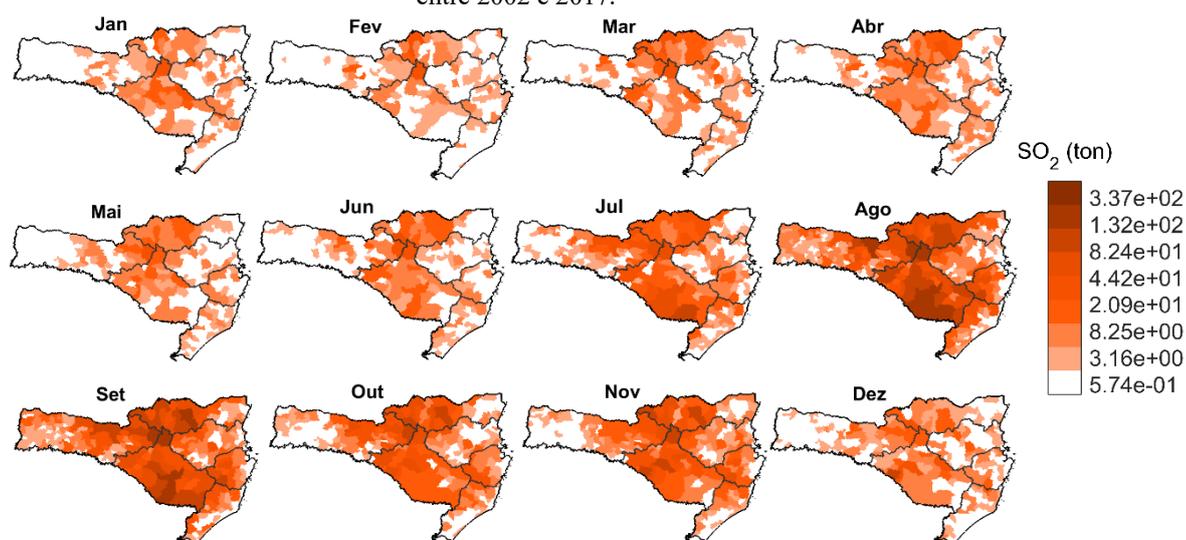


Figura 50 - Distribuição mensal da emissão de amônia (NH_3) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

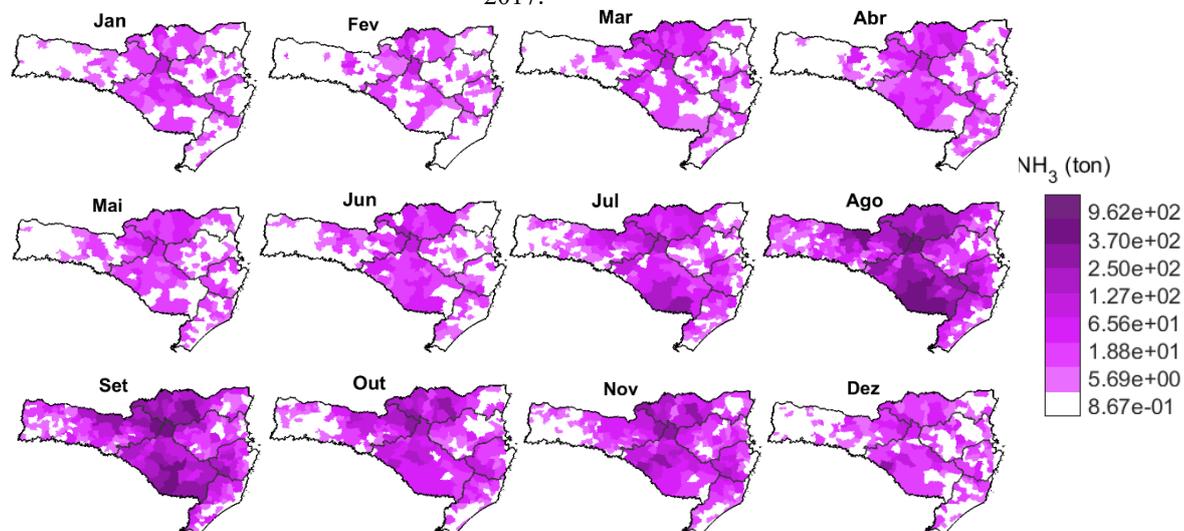


Figura 51 - Distribuição mensal da emissão de metano (CH_4) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

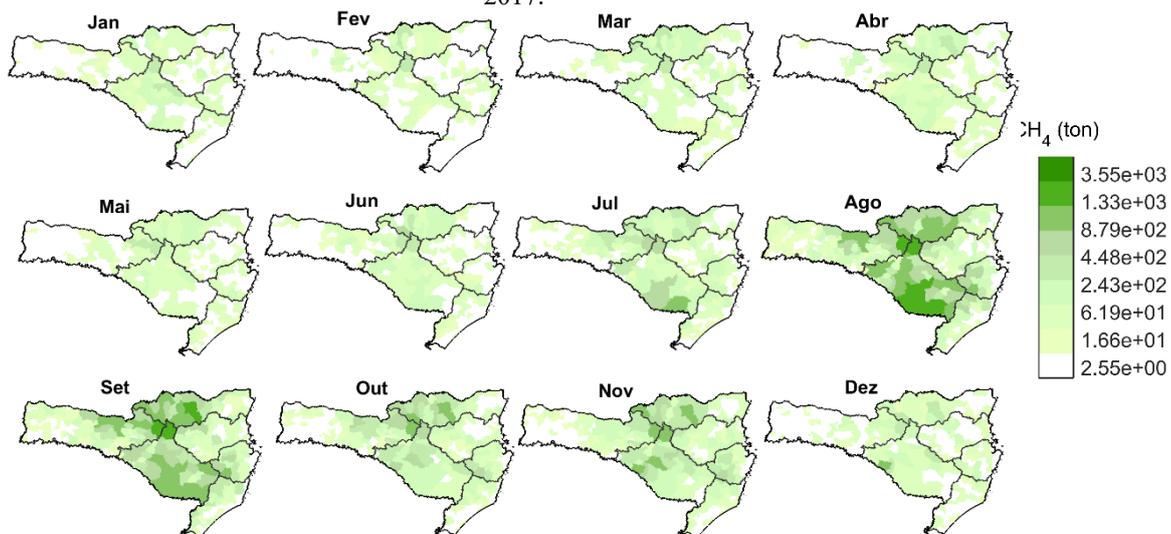


Figura 52 - Distribuição mensal da emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

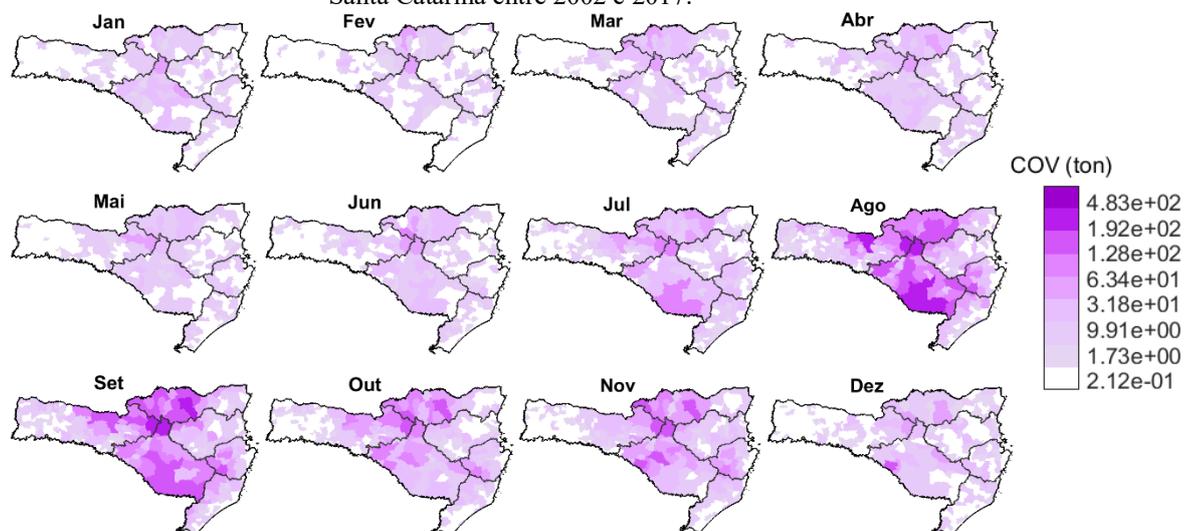


Figura 53 - Distribuição mensal da emissão de carbono orgânico (OC) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

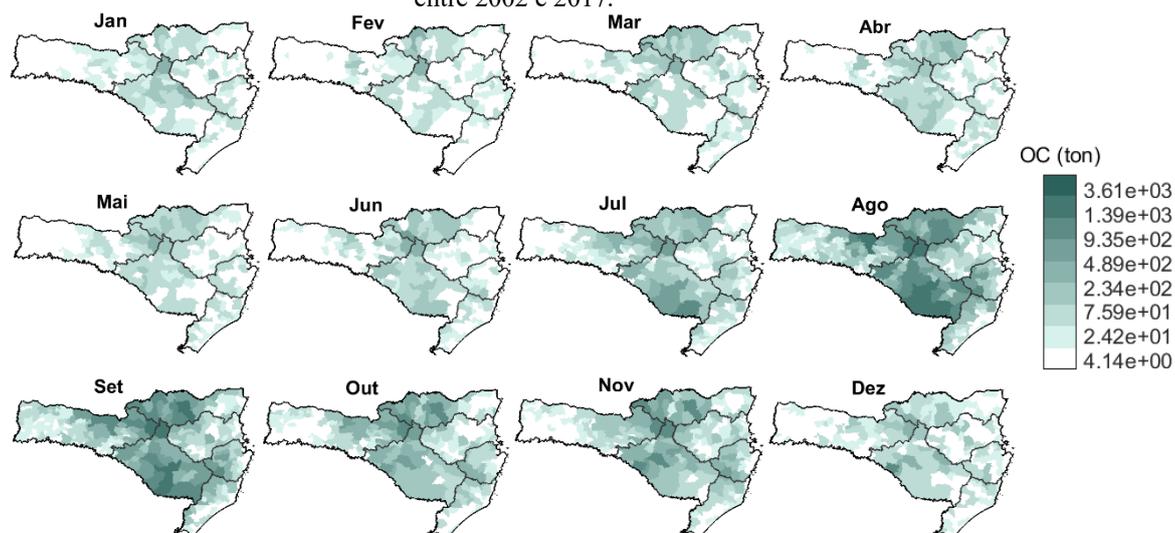


Figura 54 - Distribuição mensal da emissão de carbono negro (BC) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.

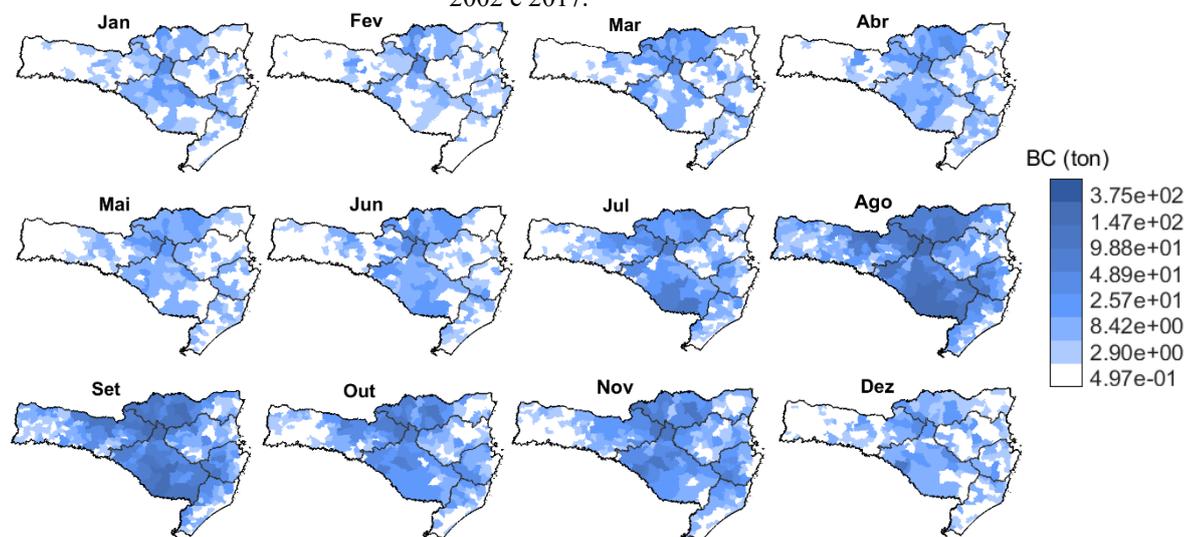
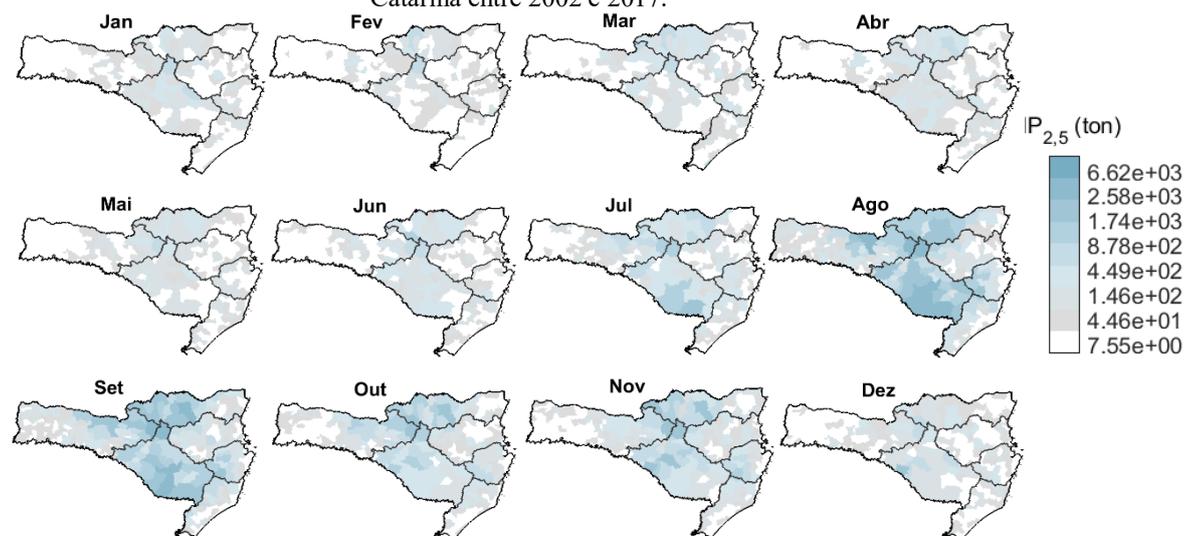


Figura 55 - Distribuição mensal da emissão de material particulado fino (MP_{2,5}) entre os municípios de Santa Catarina entre 2002 e 2017.



ANEXO A

Tabela 11 - Classes de uso do solo IGBP e fatores de emissão (kg Mg de biomassa queimada⁻¹) das especiações químicas (Adaptado Wiedinmeyer et al. 2011).

Classes do IGBP	CO₂	CO	CH₄	NO_x	NO	NO₂	CONMs	HCNM	SO₂	NH₃	MP_{2,5}	OC	BC
Florestas de Coníferas	1514	118	6	1.8	1.5	3	28	5.7	1	3.5	13	7.8	0.2
Floresta Ombrófila Densa	1643	92	5.1	2.6	0.91	3.6	24	1.7	0.45	0.76	9.7	4.7	0.52
Floresta de Coníferas Decidual	1514	118	6	3	1.5	3	28	5.7	1	3.5	13	7.8	0.2
Floresta Estacional Decidual	1630	102	5	1.3	0.34	2.7	11	5.7	1	1.5	13	9.2	0.56
Mosaico de Floresta	1630	102	5	1.3	0.34	2.7	14	5.7	1	1.5	13	9.2	0.56
Vegetação Arbustiva Fechada	1716	68	2.6	3.9	1.4	1.4	4.8	3.4	0.68	1.2	9.3	6.6	0.5
Vegetação Arbustiva Aberta	1716	68	2.6	3.9	1.4	1.4	4.8	3.4	0.68	1.2	9.3	6.6	0.5
Savana Lenhosa	1716	68	2.6	3.9	1.4	1.4	4.8	3.4	0.68	1.2	9.3	6.6	0.5
Savana	1692	59	1.5	2.8	0.74	3.2	9.3	3.4	0.48	0.49	5.4	2.6	0.37
Gramíneas	1692	59	1.5	2.8	0.74	3.2	9.3	3.4	0.48	0.49	5.4	2.6	0.37
Áreas Alagadas Permanentes	1692	59	1.5	2.8	0.74	3.2	9.3	3.4	0.48	0.49	5.4	2.6	0.37
Predominância Agrícola	1537	111	6	3.5	1.7	3.9	57	7	0.4	2.3	5.8	3.3	0.69
Mosaico de Áreas Agrícolas/Vegetação	1692	59	1.5	2.8	0.74	3.2	9.3	3.4	0.48	0.49	5.4	2.6	0.37
Solo Exposto	1692	59	1.5	2.8	0.74	3.2	9.3	3.4	0.48	0.49	5.4	2.6	0.37