Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

Padrões sinóticos associados a ocorrência de incêndios florestais na estação ecológica do taim e campos neutrais - brasil

Synoptic patterns associated with the occurrence of fire foci in the Ecological Station Taim and Campos Neutrais - Brazil

Patrones sinópticos asociados a la ocurrencia de Incendios Forestales en la Estación Ecológica do Taim y Campos Neutrais – Brasil

Ana Lucia da Silva Nascimento
Universidade Federal de Pelotas
analuciasne@gmail.com

Mateus da Silva Teixeira
Universidade Federal de Pelotas
mateus.teixeira@ufpel.edu.br

Marcelo Felix Alonso
Universidade Federal de Pelotas
mfapel@gmail.com

André Becker Nunes
Universidade Federal de Pelotas
beckernunes@gmail.com

Nicole Cristine Laureanti
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
nicole.laureanti@inpe.br

Lucijacy Pereira Javarini
Instituição: Universidade Federal de Pelotas
lucijacy@hotmail.com

Resumo: A atmosfera influencia diretamente a ocorrência e a dinâmica das queimadas e incêndios florestais. Quando ocorrerem em regiões de preservação ambiental, o fogo favorece a perda de biodiversidade, impacta as mudanças climáticas e segurança hídrica. Este estudo identificou os

padrões sinóticos favoráveis à ocorrência de fogo na Estação Ecológica do Taim e Campos Neutrais, ambos localizados no extremo sul do Brasil. Para a ocorrência de fogo na região de estudo, os déficits de umidade são mais importantes do que as altas temperaturas, diferindo do que é descrito na literatura. Três padrões sinóticos foram identificados: o primeiro apresentando anomalias negativas de temperatura e umidade, estabelecidas após a passagem de uma frente fria que tem como principal contribuição a de gerar uma estabilidade pós-frontal, associada ao deslocamento de um sistema de alta pressão. O segundo e terceiro padrões (64%) correspondem aos eventos mais intensos e duradouros, que ocorrem na presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul e da Zona de Convergência de Umidade, e atuam na região noroeste-sudeste do Brasil. Esses sistemas favorecem o deslocamento lento de um sistema de alta pressão sobre a região de estudo, o que contribui para a intensificação de um ambiente estável, favorecendo o déficit de umidade e anomalias positivas de temperatura na região de estudo. Os resultados deste estudo fornecem uma compreensão de como a atmosfera influencia na ocorrência do fogo na região de estudo, e auxiliarão no planejamento da minimização do impacto que podem causar em uma região de preservação ambiental.
Palavras-chave: Incêndios Florestais. Unidade de Conservação. Dinâmica do Fogo

Abstract: Weather and climate conditions directly influence the occurrence and dynamics of forest fires. And when they occur in environmental preservation regions, they have impacts on biodiversity loss, climate change and water security. This study identified the synotic patterns favorable to the occurrence of hotspot in the Ecological Station Region of the Taim and Campos Neutrais, both located in the extreme south of Brazil. In the study region, humidity deficits are more important than high temperatures, differing from what is described in the literature. Three synoptic patterns were identified: the first presenting negative anomalies of temperature and humidity, established after the passage of a cold front, which has as main contribution to generate a postfrontal stability, associated with the displacement of a high pressure system. The second and third pattern (64% of wildfire) correspond to the most intense and long-lasting events, which occur in the presence of the South Atlantic Convergence Zone and Humidity Convergence Zone, respectively, and act on the northwest-southeast region of Brazil. These systems favor the slow displacement of a high pressure system over the study region, which contributes to the intensification of a stable environment, favoring moisture deficit and positive temperature anomalies in the study region. The results of this study provide an understanding of how the atmosphere influences the occurrence of wildfire in the study region, and will help in planning the minimization of the impact they can cause in an environmental preservation region
Keywords: Wildfire. Fire behaviour. Conservation unit

Resumen: La atmósfera influye directamente en la aparición y la dinámica de los incendios forestales. Cuando se producen en regiones de preservación ambiental, los incendios favorecen la pérdida de biodiversidad, repercuten en el cambio climático y en la seguridad del agua. Este estudio identificó patrones sinópticos favorables a la ocurrencia de incendios en la Estación Ecológica Neutral de Taim y Campos, ubicada en el extremo sur de Brasil. Para la ocurrencia de incendios en la región de estudio, los déficits de humedad son más importantes que las altas temperaturas, lo que difiere de lo descrito en la literatura. Se identificaron tres patrones sinópticos: el primero muestra anomalías negativas de temperatura y humedad, establecidas tras el paso de un frente frío que tiene como principal contribución generar estabilidad postfrontal, asociada al desplazamiento de un sistema de altas presiones. El segundo y tercer patrón (64%) corresponden a eventos intensos y de larga duración, que ocurren en presencia de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur y de la Zona de Convergencia Húmeda, que actúan en la región noroeste-sudeste de Brasil. Estos sistemas favorecen el lento desplazamiento de un sistema de altas presiones sobre la región de estudio, contribuyendo a un ambiente estable, favoreciendo el déficit de humedad y las anomalías positivas de temperatura en la

región de estudio. Los resultados permiten comprender cómo influye la atmósfera en la ocurrencia de incendios en la región de estudio, ayudando a planificar la minimización del impacto que pueden causar en una región de preservación ambiental.

Palabras clave: Incendios forestales. Unidad de conservación. Dinámica del fuego.

Submetido em: 06/07/2022
Aceito para publicação em: 13/03/2023
Publicado em: 31/03/2023

1. INTRODUÇÃO

Projeções climáticas têm indicado a existência de condições favoráveis à ocorrência de incêndios florestais (IF) mais intensos, recorrentes e duradouros (FLANNIGAN e WOTTON, 2001, FLANNIGAN et al., 2006; Liu et al., 2010; Justino et al., 2011; HANTSON et al., 2016; SILVA et al., 2016; DOWDY et al., 2019; FONSECA et al., 2019). Entender a influência que o tempo e clima exercem sobre a sua variabilidade é de extrema importância para avaliações efetivas dos riscos de sua ocorrência. Nas últimas décadas vem crescendo o interesse sobre a ocorrência de IF devido ao seu impacto ambiental, que tem como consequência a perda da biodiversidade, contribuindo também no aumento dos gases de efeito estufa, poluição do ar e agravamento de doenças respiratórias (KOCHI et al., 2010; CAÚLA et al., 2015; De FARIA et al., 2017; SILVA et al., 2018; FREIRE et al., 2020).

Os IF trazem um agravante quando ocorrem em áreas de preservação ambiental, como as unidades de conservação (UC), que são regiões criadas com o objetivo de proteger os remanescentes de um determinado bioma. Além de mitigar os efeitos das mudanças climáticas, pois são importantes estoques de carbono, as áreas de preservação guardam recursos hídricos e serviços ligados às necessidades básicas de segurança alimentar (Lapola et al., 2020). No Brasil (BR), as UC continentais estão distribuídas entre os biomas da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa, correspondendo a uma área de preservação de 28%, 8.44%, 9.84%, 8.80%, 4.63% e 2.94%, do bioma protegido, respectivamente (MMA, 2021).

No território brasileiro, os IF ocorrem em sua maioria nos ecossistemas do Cerrado e Amazônia, majoritariamente associados a práticas agrícolas e agropecuária (ARAGÃO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2021). Quando ocorridos em áreas de proteção ambiental, são considerados uma grave ameaça para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos, tendo um impacto maior quando se tratam de áreas relativamente pequenas, isoladas por monoculturas agrícolas ou regiões urbanizadas, que possuem ecossistemas sensíveis e espécies raras e/ou ameaçadas de extinção. Como consequência, há o comprometimento da manutenção das suas populações (MEDEIROS e FIEDLER, 2004; TORRES et al., 2017), e no BR, poucas áreas de proteção ambiental possuem planos de prevenção e controle de IF (BONTEMPO et al., 2011; KOPROSKI et al., 2011).

Sabe-se que os fatores meteorológicos são os elementos críticos que influenciam a ocorrência, comportamento e dinâmica dos IF, além de constituir um dos três pilares para o seu início e desenvolvimento (WESTERLING et al., 2003; CAÚLA et al., 2015; COSTA e FONSECA, 2017; EUGENIO et al., 2019). Alguns autores, buscando entender a influência da atmosfera sobre suas ocorrências, observaram que os fatores comumente encontrados são: (i) anomalias positivas de temperatura; (ii) anomalias negativas de umidade relativa do ar (UR) associados a um alto índice de evaporação; (iii) mudanças na direção e intensidade do vento, que contribuem para o alastramento do fogo. Também são importantes as (iv) características e trajetórias das massas de ar; (v) a presença de descargas elétricas que podem contribuir com a ignição e (vi) o perfil termodinâmico da atmosfera. Observaram também a presença de (vii) anomalias positivas de altura geopotencial nos níveis médios da troposfera, que contribuem para o desvio de sistemas frontais, favorecimento da estiagem, presença de anomalias negativas na coluna de ar da atmosfera e a (viii) presença de bloqueios atmosféricos (SKINNER et al., 2002; DAVIS et al., 2004; WESTERLING et al., 2003; TORRES et al., 2011; PETROLIASKIS et al., 2015; CAÚLA et al., 2015; FERREIRA-LEITE et al., 2017; TAN et al., 2019; ANDRADE et al., 2020).

O ambiente atmosférico tem o papel de favorecer o processo de ignição e desenvolvimento de um IF (OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020). E no BR, alguns estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de investigar a influência da atmosfera na ocorrência de IF em UC com diversos biomas, como por exemplo estudos realizados no Parque Nacional das Emas e em regiões da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro PARQUE NACIONAL DAS EMAS, 2004; (CLEMENTE et al. 2017; RODRIGUES et al., 2019; SCHUMACHER et al., 2021). Tais estudos afirmam que os IF são altamente influenciados pela variabilidade de sistemas meteorológicos, por exemplo, períodos prolongados de estiagem associados a atuação de massas de ar seco e formação de bloqueios atmosféricos, baixos valores de UR, perda de umidade do material combustível, diminuição da ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em decorrência do aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico Sul, associado a circulação anômala de anticiclones que se estende sobre a região sudeste do Brasil e transporta mais ar seco do que o esperado para a região. (WESTERLING et al., 2003; MEDEIROS e FIEDLER, 2004; COELHO et al., 2014; CLEMENTE et al., 2017; FERREIRA-LEITE et al., 2017; RODRIGUES et al., 2019; SCHUMACHER et al., 2021).

Outro fator que influencia a ocorrência de IF é o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que altera os níveis de precipitação e temperatura em todo o globo (JIMÉNEZ-MUÑOS et al., 2016; ANDREOLI et al., 2017; PEREIRA et al., 2017; ALMEIDA et al., 2017; CHEN e ZHA, 2018; BARBOSA et al., 2019; ANDRADE et al., 2020). Que pode potencializar e prolongar episódios de estiagem em determinadas regiões, contribuindo com fatores que favorecem a ocorrência dos IF (CLEMENTE et al., 2017). No entanto, para que o fogo inicie é necessária que se tenha uma fonte de ignição, que pode ser natural ou antrópica, que corresponde a cerca de 90% das ignições ligadas direta ou indiretamente a ação humana (HANTSON et al., 2016; PAGE et al., 2019).

Embora nos últimos anos venham se desenvolvendo inúmeros trabalhos que investigam a ocorrência dos incêndios no BR, ainda é incipiente a investigação em áreas de proteção ambiental localizadas no Pampa brasileiro (NATALIE et al., 2015), que atualmente é o bioma menos protegido (MMA, 2019). A vegetação campestre, se comparada às florestas e savanas, pode não ser tão exuberante. Entretanto, são extremamente valiosas do ponto de vista da biodiversidade e serviços ambientais; além de ter uma importante contribuição no processo de sequestro de carbono e fonte de variabilidade genética (TRNTIN, 2015; PALAZZI, 2018). O objetivo deste trabalho é investigar os padrões atmosféricos que são favoráveis às ocorrências dos IF no extremo sul do Rio Grande do Sul - Brasil, onde está localizada a Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim) e Campos Neutrais (CN). Acredita-se que uma caracterização dos padrões sinóticos associados à ocorrência dos IF mais significativos pode contribuir com informações valiosas para medidas de prevenção e mitigação dos incêndios que lá ocorrem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

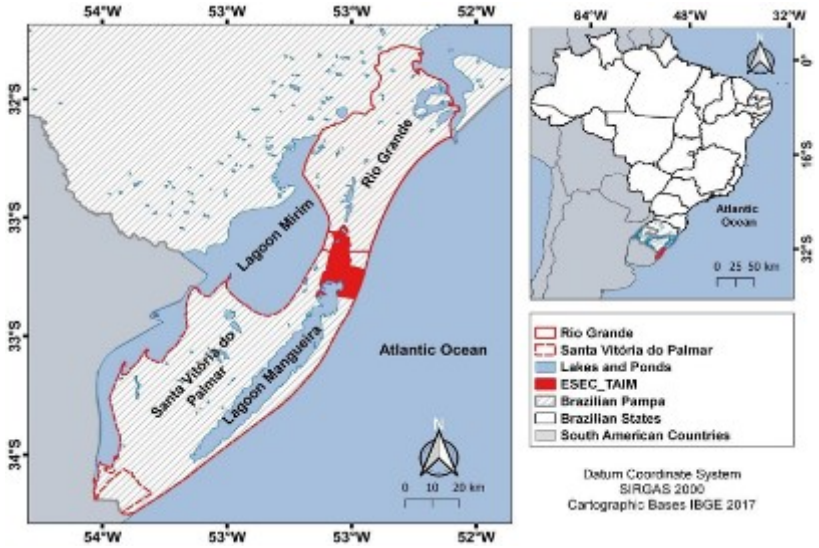
No BR, o bioma Pampa está restrito à metade sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), onde ocupa uma área de aproximadamente 176.496 km². A área de estudo compreende a região onde está localizada a ESEC Taim e CN, que possuem uma área de 328 km² e 2.700 km² respectivamente. Ambas estão localizadas no extremo sul do RS, especificamente na Planície Costeira, entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mirim (Figura 1). Grande parte da ESEC Taim é constituída de porções alagadas (cerca de 60%) cobertas por vegetação quase uniforme, como

por exemplo, Zizaniopsis bonariensis (família das Gramineae), Scirpus Californicus (família das Cyperaceae), dunas litorâneas, praias oceânicas e lacustres, lagoas Nicola, Jacaré e parte da Mangueira, campos e capões de mata nativa (PALAZZI, 2018).

A ESEC TAIM é uma das poucas áreas do RS criadas com o objetivo de proteger espécies ameaçadas de extinção, tanto no território nacional quanto internacionalmente, destacando-se também pelo seu valor como patrimônio genético e paisagístico (BURGER et al., 2006). No âmbito econômico, em seu entorno é cultivado arroz irrigado por inundação (explorado principalmente nos meses de verão), promovendo uma grande redução no nível de água dentro do Banhado Taim (MARQUES et al., 2002). E, segundo Tassi (2008), as maiores taxas de evaporação são observadas durante os períodos mais quentes do ano, coincidindo com o período de demanda por irrigação.

Os CN correspondem aos territórios que abrangem as cidades de Santa Vitória do Palmar e Chuí, ambas localizadas no estado RS. A geografia da região é composta por áreas alagadas, que propiciam um ambiente farto em alimento para a subsistência e reprodução de diversos animais (TRENTIN, 2015). A região de estudo (Figura 1) situa-se no cinturão de latitudes subtropicais, cujo clima apresenta as estações do ano bem definidas. A altitude média é de 5 m e a temperatura do ar média anual é de 17.5°C, podendo variar de –5.2°C a 35°C durante o inverno e verão. A velocidade média do vento gira em torno de 3 a 5 ms-1 (predominantemente de nordeste), influenciados pela ASAS (PEREIRA BRITTO et al., 2008). Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte da precipitação, sendo o período de maior frequência os meses de maio a setembro (PEREIRA BRITTO et al., 2008).

Figura. 1 - Mapa com destaque da área de estudo (linha contínua vermelha) contendo a ESEC Taim (área preenchida em vermelho). No canto superior esquerdo é mostrado o posicionamento geográfico da área de estudo na América do Sul.



2.2. Dados e Métodos

Os dados de FC foram obtidos através do filtro 3BEM (mais informações na seção 3.3) a partir das informações dos Satélites Geostationary Operational Environmental Satellite - Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm (GOES WF_ABBA) (PRINS et al., 1998), dados do CPTEC - INPE utilizando produtos do fogo baseado no Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites de orbita polar NOAA (SETZER et al., 1991) e Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (GIGLIO et al., 2003). O período de análise deste trabalho compreende junho de 1998 a dezembro de 2018, totalizando 234 meses. Definiu-se o limiar do Percentil 90 para a quantidade de FC na região, pois os mesmos são muito variáveis, independentemente da quantidade de dias consecutivos em que ocorreram. Ou seja, a quantidade de dias não foi um fator importante para a determinação da severidade (quantidade de focos) dos casos que serão analisados. Com esta análise, foram identificados os casos em que ocorreram os IF na UC (Tabela 1). Mais detalhes sobre a metodologia utilizada encontra-se em NASCIMENTO et al., (2020).

Tabela 1 - Eventos selecionados a partir do P90, ordenadas em dias de duração.

Data	Focos de Calor	Dias de duração (C1)	Data	Focos de Calor	Dias de duração (C2)	Data	Focos de Calor	Dias de duração (C2)
24/10/1998	26	1	01/01/2001	8	2	12/01/2003	9	3
22/12/1998	8	1	05/11/2001	4	2	14/02/2011	6	3
31/12/1998	5	1	05/01/2003	6	2	08/06/2013	6	3
09/12/1999	19	1	30/01/2003	10	2	22/06/2015	5	3
31/12/1999	21	1	06/03/2005	5	2	13/03/2017	4	3
09/01/2000	13	1	10/03/2005	4	2	28/01/2008	26	4
06/02/2001	7	1	28/01/2006	4	2	30/11/2010	12	6
08/01/2003	5	1	12/01/2007	4	2	26/03/2013	49	8
12/04/2005	7	1	26/11/2010	5	2			
20/10/2010	4	1	08/01/2012	4	2			
10/12/2012	5	1	08/02/2013	4	2			
22/04/2015	4	1	14/11/2014	5	2			
17/10/2015	30	1	24/04/2015	5	2			
			17/05/2015	6	2			
			06/11/2015	4	2			

Para a análise sinótica foram usados dados de reanálise da quinta geração (ERA5) do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (CS3, 2017). Os dados do ERA5 compreendem o período de 1979 até 2018, possui 137 níveis verticais e resolução horizontal de 0,25° de latitude e longitude. As análises das configurações atmosféricas foram realizadas a partir de campos compostos de valores dos campos médios e suas anomalias para os horários das 00, 06, 12 e 18 UTC, entretanto, utilizou-se somente o horário da temperatura máxima para as análises (18 UTC, 15 horas local), período em que há uma maior possibilidade de o fogo estar mais ativo. O período de 1979 até 2018 foi utilizado como referência para o cálculo das médias mensais e anomalias. Foi cedido pela administração da ESEC Taim o Registro de Ocorrência de Incêndios Florestais (ROI), que serve como um relatório sobre as condições locais durante o incêndio, assim como as medidas de combate e detecção. Os dados cedidos compreendem o período de 20/11/2016 a 08/03/2018.

Além disso, foram analisadas as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T), umidade relativa (UR), componentes U e V do vento, altura geopotencial e ômega nos níveis de 1000, 500, 850 e 250 hPa. Avaliou-se também as variáveis temperatura do ar em 2m (T2m), componentes U e V do vento em 10m e pressão ao nível médio do mar (PNMM). As seguintes variáveis foram calculadas (Tabela 2):

Tabela 2 – Variáveis calculadas e suas referências.

Variável	Referência
Divergência Horizontal	(HOLTON, 2004)
Advecção de Temperatura e Umidade Específica	(HOLTON, 2004)
Espessura entre 1000 e 500 hPa	(WALLACE e HOBBS, 2006)
Divergência do Fluxo de Umidade integrado na vertical, entre 1000 e 700 hPa	(Adaptado de Morales e Yamasaki, 2016)

A seguir serão apresentadas as análises dos campos compostos e as configurações sinóticas predominantes durante os eventos de fogo que tiveram duração de um dia (C1, 36.2% das ocorrências), dois dias (C2, 41.6% das ocorrências) e três dias ou mais (C3, 22.2% das ocorrências). Os campos compostos são apresentados desde dois dias antes do início dos FC (-D2 e -D1) até os dias em que foram detectados (D0, D1 e D2). Analisou-se também os dois dias posteriores ao término dos FC (+D1 e +D2), com o objetivo de descrever os ambientes atmosféricos que contribuíram para o seu controle e término.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Padrões Atmosféricos Durante os Eventos de Incêndios

É importante destacar que 88% dos casos ocorreram no período de primavera (meses) e verão (22 de dezembro a 21 de março) para o Hemisfério sul. Sendo os meses de dezembro e janeiro que concentram a maior quantidade de FC (NASCIMENTO et al., 2020).

3.2 Composto para Incêndios com duração de 1 dia (C1)

Os compostos de linha de corrente e magnitude do vento (Figura 2) evidenciam uma circulação em altos níveis típicos do período do verão para o Hemisfério sul (Grimm, 2009), com a presença da Alta da Bolívia (15°S; 65°W; AB) e do Cavado do Nordeste Brasileiro (CNB), localizado sobre o Oceano Atlântico, à leste da costa do nordeste brasileiro.

Essa configuração padrão contribui para organizar a precipitação na região da Amazônia, Centro-Oeste e Sudeste brasileiro, e permanece persistente antes e durante o dia em que ocorrerem os FC. Observa-se também a presença do Jato Subtropical (JST) posicionado ao sul (30°S) e de parte do ramo do Jato Polar (JP, fora dos domínios da imagem) posicionado em latitudes maiores que 45°S. Sobre a região sul do BR, é possível observar a localização da corrente de jato, que tem sido associada a climas extremos e episódios prolongados de secas no Hemisfério Norte (BELMECHERI et al., 2017; Jain e FLANNIGAN, 2021). O padrão de circulação observado na Figura 3 é refletido em níveis médios da atmosfera com a passagem de sistemas transientes ao sul de 35°S, que causam pouca influência sobre a região de estudo. No entanto, é importante destacar a presença de uma anomalia positiva de geopotencial desde -D2 que se dissipa somente em +D1.

Figura 2 – Campos compostos para focos de calor com duração de um dia: linha de corrente (contorno) e magnitude do vento (sombreado, ms-1) em 250 hPa para os dias -D2, -D1, D0, +D1 e +D2 as 15 horas local.

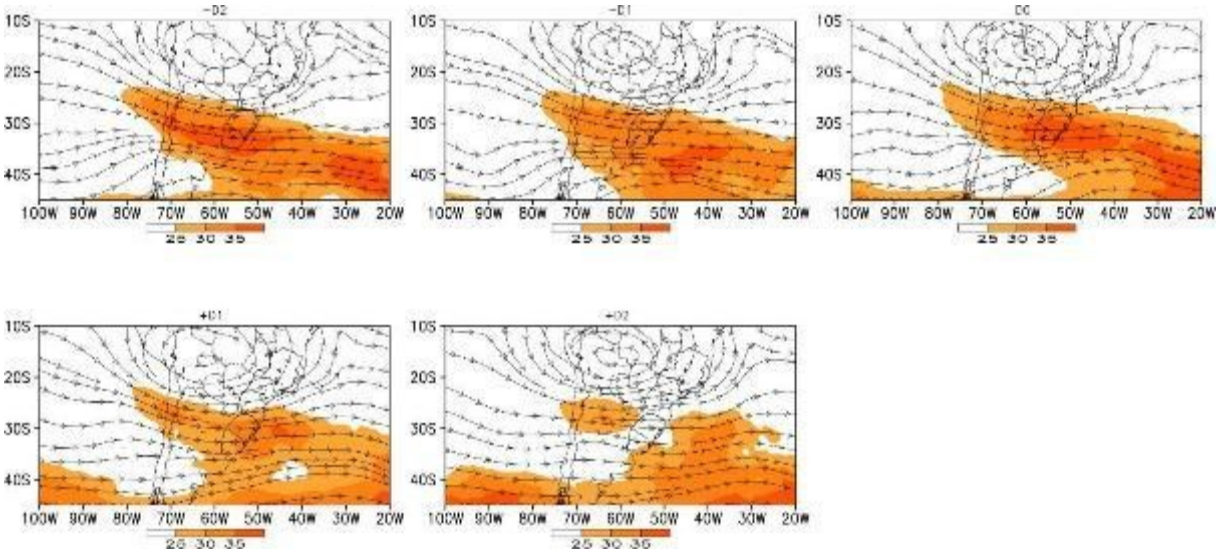
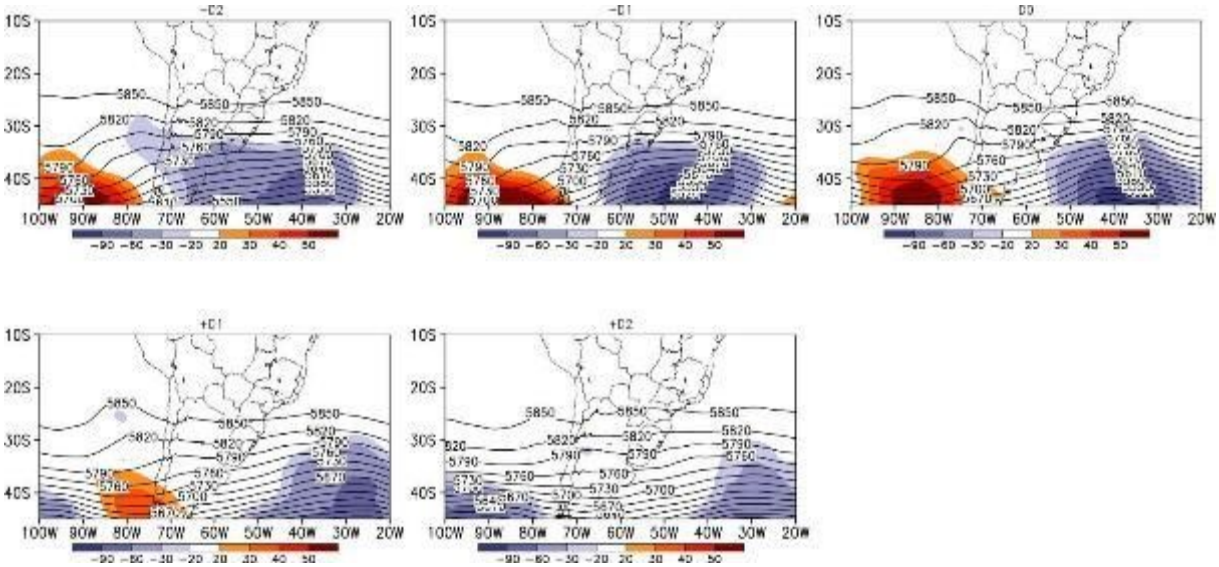


Figura 3 - Campos compostos para focos de calor com duração de um dia: altura geopotencial (contorno, mgp) e anomalias em 500 hPa (sombreado, mgp) para os dias -D2, -D1, D0, +D1 e +D2 as 15 horas local.



Os compostos de altura geopotencial, ômega em 500 hPa, e PNMM (Figura 4) mostram os eventos com FC que duram apenas um dia e tiveram, em comum, a passagem de sistemas frontais pela região de estudo. Nos dois dias anteriores ao início dos FC o estado do RS encontrava-se numa região de colo, caracterizado por fracos ventos. A passagem desse sistema frontal é refletida nas anomalias negativas de altura geopotencial na média troposfera (Figura 3). Entretanto, esse sistema não contribui para a ocorrência de movimento ascendente na região de estudo, ao contrário da metade norte (dias -D2 e -D1). No dia da ocorrência dos FC (D0) uma área de alta pressão pós-frontal se aproxima da região, mas, devido ao movimento predominantemente zonal dos sistemas meteorológicos, o sistema não adentra o estado do RS e se desloca para o Oceano Atlântico nos dias seguintes (+D1 e +D2). Em +D2 pode-se perceber a passagem de um outro cavado em superfície, ao sul de 40ºS, e a formação de outro cavado em superfície no norte da Argentina e Paraguai. Nesse dia, movimento ascendente é observado por todo o estado do RS.

Os sistemas frontais que passaram pela região não foram capazes de gerar movimento ascendente generalizado, bem como não levaram a anomalias positivas de UR sobre a região do RS, na baixa troposfera (Figura 4). Ao contrário, em -D2 já era possível observar anomalias negativas de UR na região de estudo, que se intensificaram e perduraram até +D1, dia seguinte a ocorrência dos FC (D0), devido à atuação da alta pós-frontal (Figura 4 e Figura 5). Tais fatores

colaboraram para o déficit de umidade na região, o que contribuiu para a perda de umidade da vegetação, que deixa mais suscetível ao processo de ignição. Apesar de ser esperado que em episódios de FC ocorram em períodos de altas temperaturas (Pereira et al., 2005; por exemplo), neste estudo, os eventos C1 apresentaram anomalias negativas de temperatura desde 850hPa (Figura 6) até superfície (não apresentado). Ou seja, a partir de -D2, anomalias negativas de temperatura foram observadas na região do Uruguai e sul do RS, influenciadas pela passagem da alta pós-frontal.

Apesar do padrão atmosférico indicar anomalias negativas de UR, na Figura 7 é observada uma convergência sobre a região de estudo. Ou seja, na região onde ocorreram os FC desde -D2 a +D2 a atmosfera há um pequeno acréscimo de umidade, provavelmente devido a dinâmica de circulação local. Na literatura diversos trabalhos associam o ressecamento da coluna de água na atmosfera à ocorrência do fogo (por exemplo Paschalidou e Kassomenos 2016), fato que aqui não pôde ser observado para C1.

Figura 4 - Campos compostos para focos de calor com duração de um dia: altura geopotencial em 500 hPa (mgp, linha pontilhada rosa), PNMM (linha contínua preta) e ômega (sombreado, 10 Pa.s^{-1}) em 500 hPa para os dias -D2, -D1, D0, +D1 e +D2 as 15 horas local.

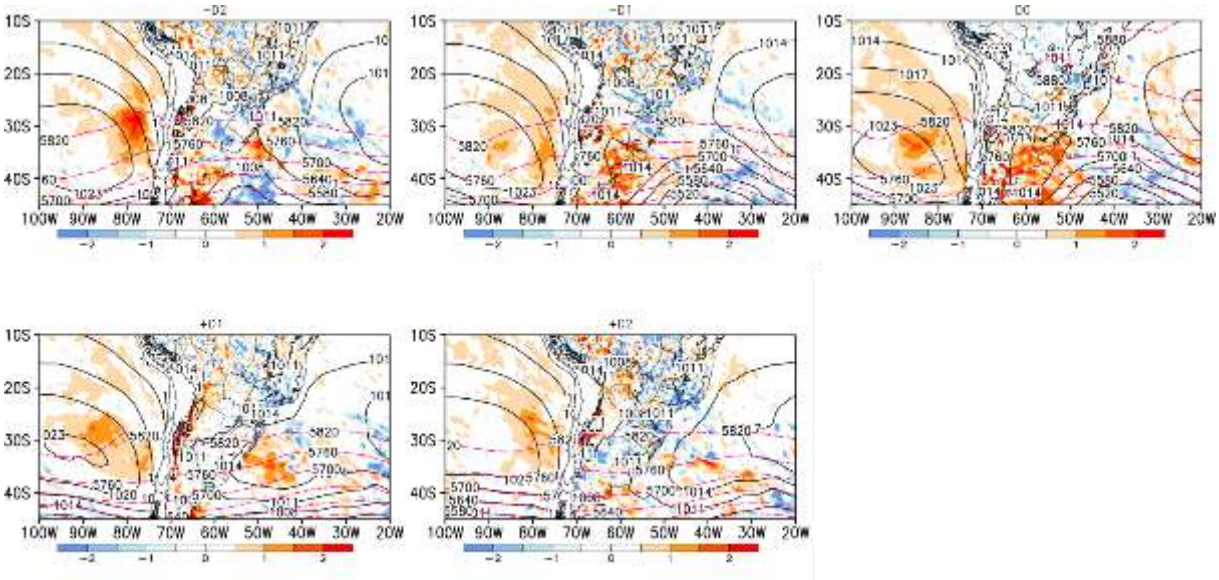


Figura 5 – Campos compostos para focos de calor com duração de um dia: linha de corrente em 850 hPa (contorno), umidade relativa (contorno, %) e anomalia de umidade relativa (sombreado, Kg/kg) em 850 hPa para os dias -D2, -D1, D0, +D1 e +D2 as 15 horas local.

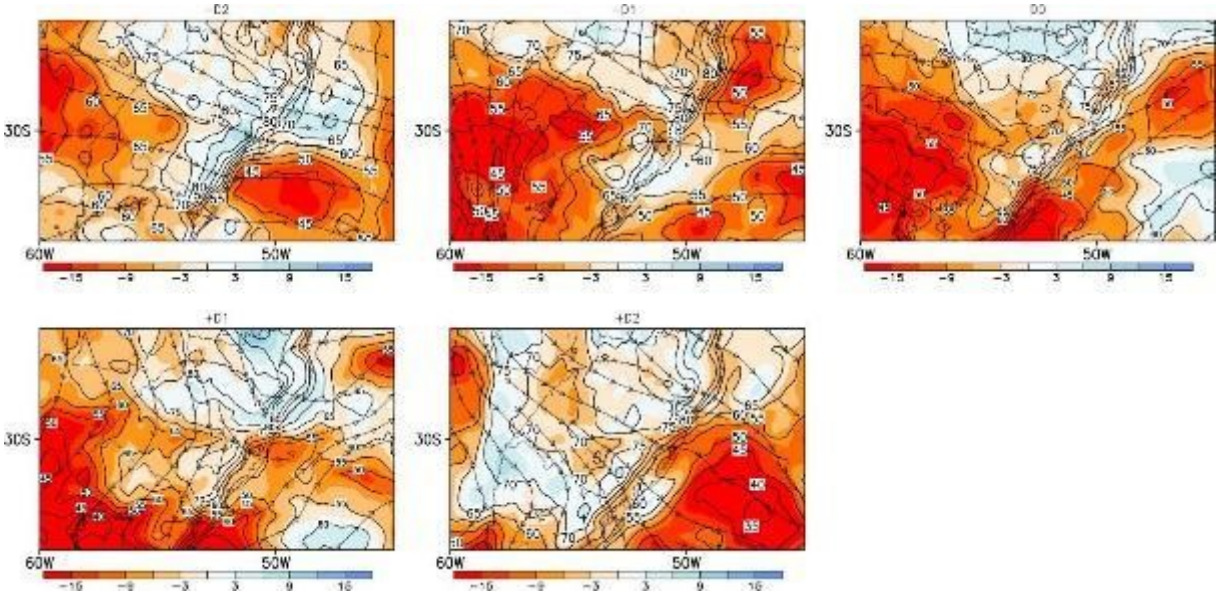


Figura 6 - Campos compostos para focos de calor com duração de um dia: linha de corrente (contorno, $m.s^{-1}$) em 850 hPa, temperatura (contorno, em ºC) e anomalia de temperatura (sombreado, em ºC) em 850 hPa para os dias -D2, -D1, D0, +D1 e +D2 as 15 horas local.

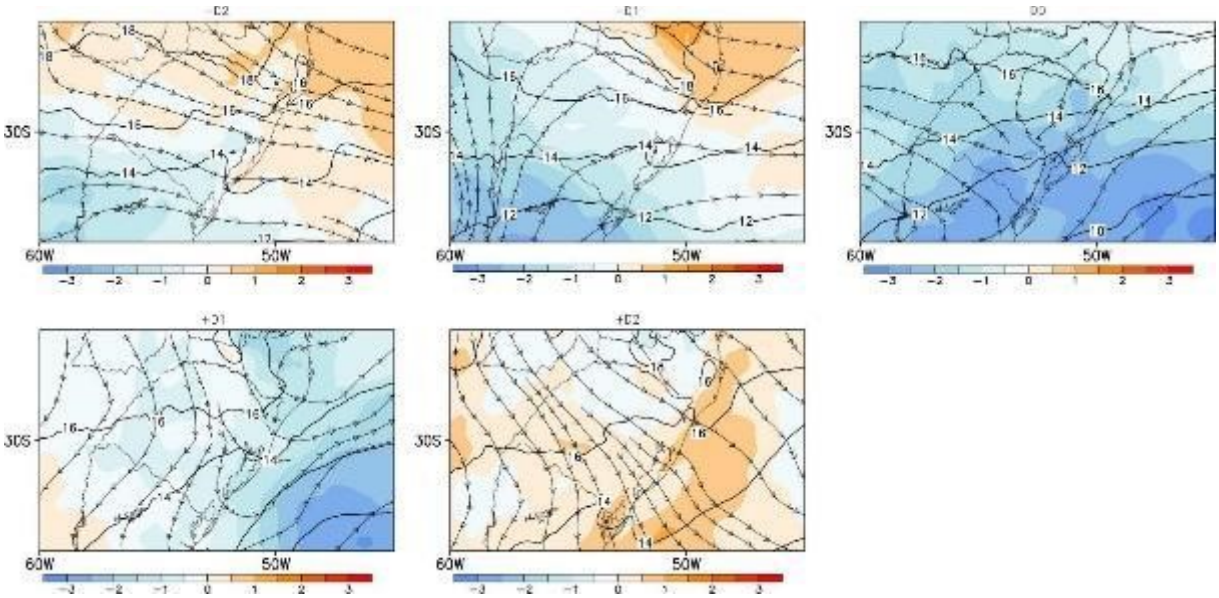
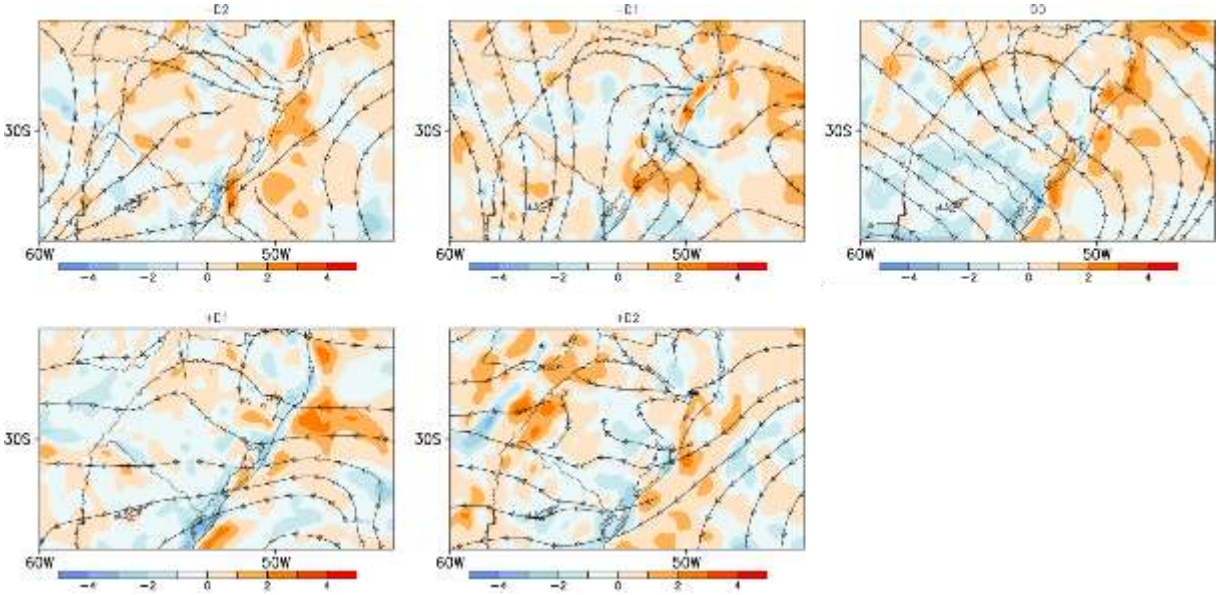


Figura 7 – Campos compostos para focos de calor com duração de um dia: divergência do fluxo de umidade (anomalia, sombreado, 10^{-4} $kgm^{-2}s^{-1}$) integrada na vertical entre os níveis de 1000 e 700 hPa para os dias -D2, -D1, D0, +D1 e +D2 as 15 horas local.



3.3 Composto para Incêndios com duração de 2 dia (C2)

Os compostos de linha de corrente e magnitude do vento em 250 hPa para os eventos com FC que tiveram duração de dois dias (Figura 8) apresentaram um comportamento semelhante ao observado nos eventos C1 (Figura 2), com a presença do CNB, AB e JST menos intensos e JST deslocado mais ao sul do continente. Diferente do observado em C1, os compostos de anomalias de geopotencial em 500hPa (Figura 9) para C2 mostram a amplificação de uma crista sobre a Argentina. Tal padrão de circulação favoreceu anomalias positivas de geopotencial que se deslocaram para leste ao sul de 35°S, abrangendo a região de estudo no segundo dia em que os FC foram registrados. Ainda, a amplificação da crista favoreceu o aprofundamento do cavado inclinado para oeste sobre o Oceano Pacífico (30°S e 90°W) e Atlântico (30°S e 40°W), que perdurou desde os dias -D1 a D1.

Figura 8 – Campos compostos para focos de calor com duração de dois dias: linha de corrente (contorno) e magnitude do vento (sombreado, ms^{-1}) em 250 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.

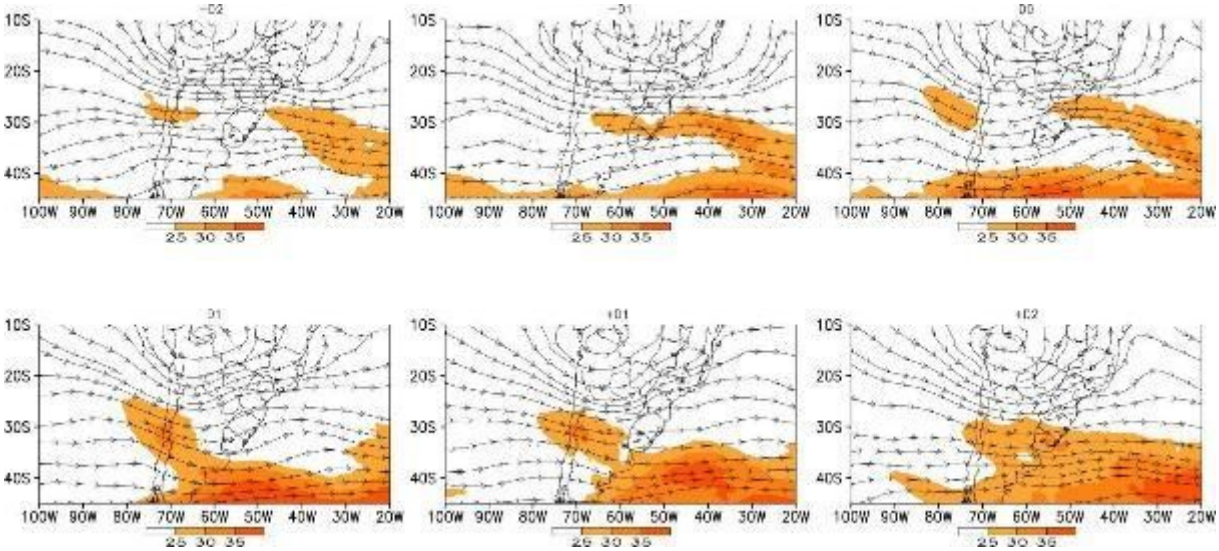
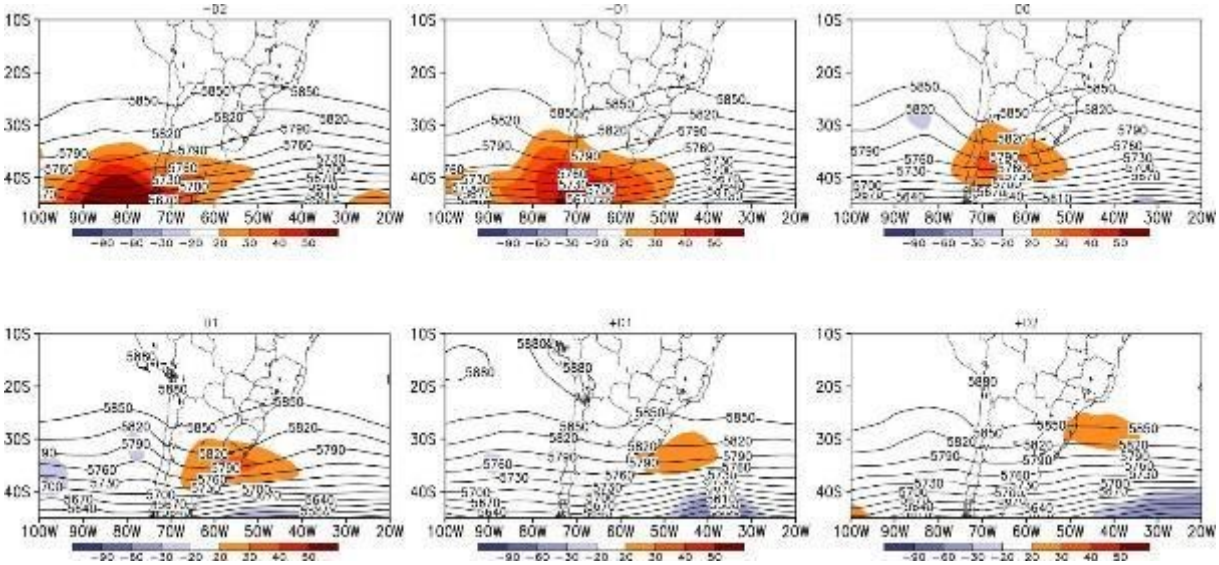


Figura 9 - Campos compostos para focos de calor com duração de dois dias: altura geopotencial (contorno, mgp) e anomalias em 500 hPa (sombreado, mgp) para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.



A amplificação da crista sobre o continente contribui para a intensificação dos movimentos subsidentes que são observados sobre a região de estudo, desde -D2 a D2, associadas também a presença de uma circulação anticiclônica em superfície e anomalias negativas de UR que perduraram até o último dia em que os FC foram registrados (D2), como pode ser observado na Figura 10. Ainda em superfície, são observados sobre o Norte, Centro-Oeste, Sudeste e oceano Atlântico Sudoeste do BR uma região de movimento ascendente

associado a passagem do sistema frontal (não mostrado), que permaneceu estacionário desde dois dias antes dos FC serem registrados. A presença de um cavado em superfície próximo ao litoral do Rio de Janeiro favorece a convergência de massa e manutenção de um corredor de umidade sobre toda região noroeste-sudeste do BR, contribuindo para a presença de anomalias positivas de UR observadas (Figura 10 e Figura 11).

De acordo com a circulação atmosférica observada nos campos compostos (Figuras 8, 9, 10 e 11), existe uma correspondência com o padrão de circulação semelhante ao encontrado em episódios de ZCAS clássicos (ESCOBAR, 2019), que são de grande importância para a região de estudo, pois quando há sua atuação, são registrados baixos acumulados de precipitação na região sul do BR (QUADRO, 1994; ROSSO, 2017).

Figura 10 - Campos compostos para focos de calor com duração de dois dias: altura geopotencial em 500 hPa (mgp, linha pontilhada rosa), PNMM (linha contínua preta) e ômega (sombreado, 10 Pa.s^{-1}) em 500 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.

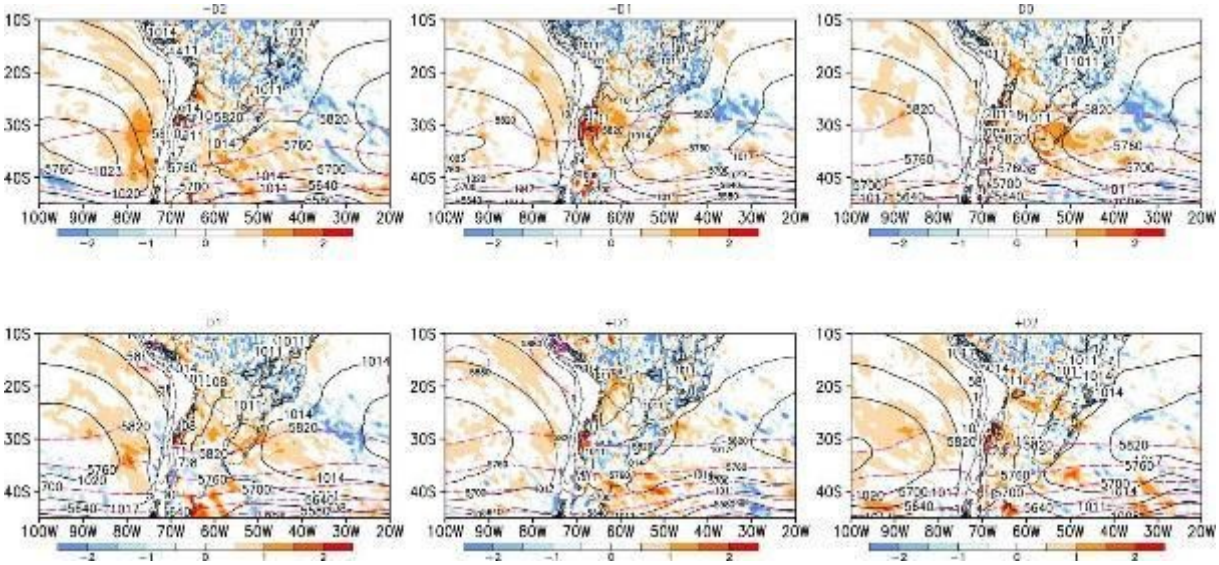
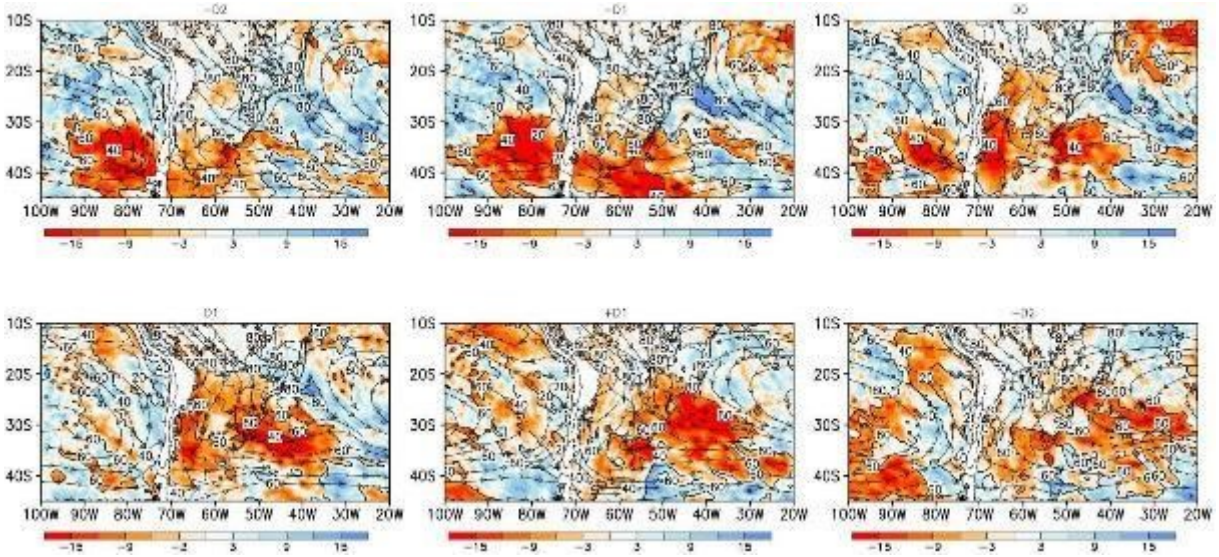


Figura 11 – Campos compostos para focos de calor com duração de dois dias: linha de corrente em 850 hPa (contorno), umidade relativa (contorno, %) e anomalia de umidade relativa (sombreado, %) em 850 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.



Diferente do observado para os eventos C1 (Figura 6), as características atmosféricas presentes na baixa troposfera (Figura 11 e Figura 12) apresentam um escoamento de sul/sudeste que atua durante os dois dias que antecederam os registros FC, passando para norte/noroeste no primeiro dia em que foram registrados, coincidindo com a intensificação do déficit de umidade e aumento das temperaturas, também refletido nas camadas mais baixas da atmosfera (-D2 a D0, Figura 13). A massa de ar seco que abrange toda a região de estudo acarreta em baixos valores de UR e altas temperaturas, que chegam a 29ºC em superfície (não apresentado) durante os dias em que os FC foram registrados. Vale ressaltar que, de acordo com o Registro de Ocorrência de Incêndio Florestal (Tabela A), os FC registrados in situ ocorreram com temperaturas variando entre 20/29ºC e UR variando entre 62%/71%. Ainda, as características identificadas nos eventos com duração de dois dias concordam com o que é citado em alguns estudos, por exemplo, anomalias positivas de altura geopotencial e amplificação de cristas e subsidência em 500hPa, baixos valores de UR, anomalias positivas de temperatura em 850hPa e déficit de umidade na coluna de água da atmosfera (PEREIRA et al., 2005; PETERSON et al., 2010; PASCHALIDOU e KASSOMENOS, 2016).

Segundo Pyne (1996), o teor de umidade presente no material combustível é influenciado pelas condições ambientais, sendo este um parâmetro crucial de influência dos

processos de incêndios florestais, desde a ignição ao comportamento do fogo. E, de acordo com as características da vegetação na região de estudo, pequenos períodos de tempo (inferiores a 24h) com déficits de umidade são o suficiente para que haja perda da umidade e maior suscetibilidade ao fogo (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE GOIÁS, 2017).

Figura 12 – Campos compostos para focos de calor com duração de dois dias: linha de corrente (contorno, ms^{-1}) em 850 hPa, temperatura (contorno, em ºC) e anomalia de temperatura (sombreado, em ºC) em 850 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.

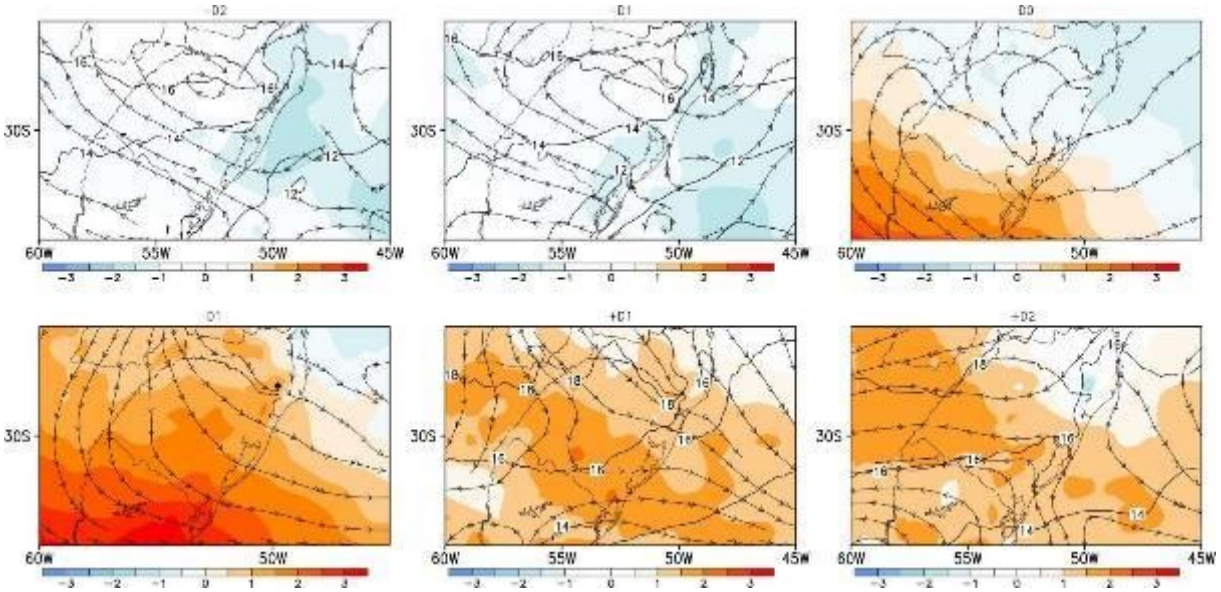
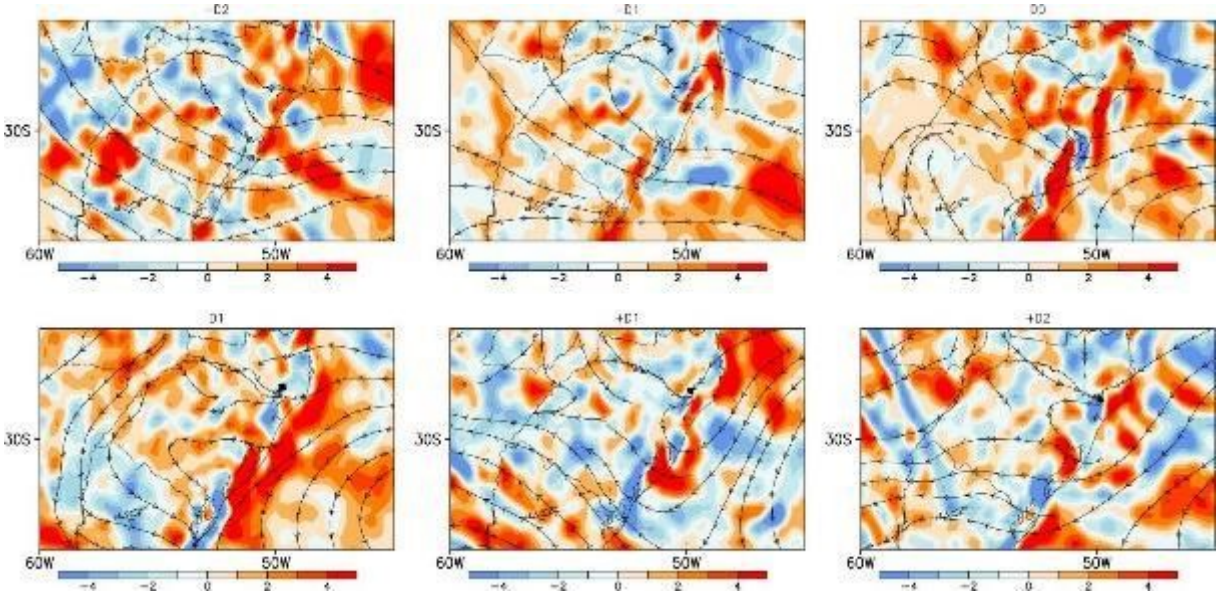


Figura 13 - Campos compostos para focos de calor com duração de dois dias: divergência (valores positivos) do fluxo de umidade (anomalia, sombreado, 10^{-4} $kgm^{-2}s^{-1}$) integrada na vertical entre os níveis de 1000 e 700 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.



3.4 Composto para Incêndios com duração de 3 dias ou mais (C3)

Os campos compostos de linha de corrente e magnitude do vento em 250 hPa para os eventos com FC que tiveram duração a partir de três dias (Figura 14) apresentaram características semelhantes às observadas em C1 e C2, com a presença da AB (deslocada mais para oeste, 10S° e 75W°), a presença do CNB e o JST sobre o sul do continente, associado a passagem de sistemas transientes ao sul de 35°S (Figura 15). Tal padrão de circulação indica a formação de sistemas de baixa pressão que se deslocam para leste (-D2 a D2), não atingindo com intensidade a região de estudo e colaborando para a formação de sistemas frontais ao longo da costa sul-sudeste do BR (D1 e D2). Ainda, sobre o Oceano Pacífico (40°S) é possível observar a intensificação de anomalias positivas de geopotencial e a presença de um cavado (30°S), que apresentam características de um bloqueio tipo dipolo.

Figura 14 - Campos compostos para focos de calor com duração a partir de três dias: linha de corrente (contorno) e magnitude do vento (sombreado, ms^{-1}) em 250 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, D2, +D1 e +D2 as 15 horas local.

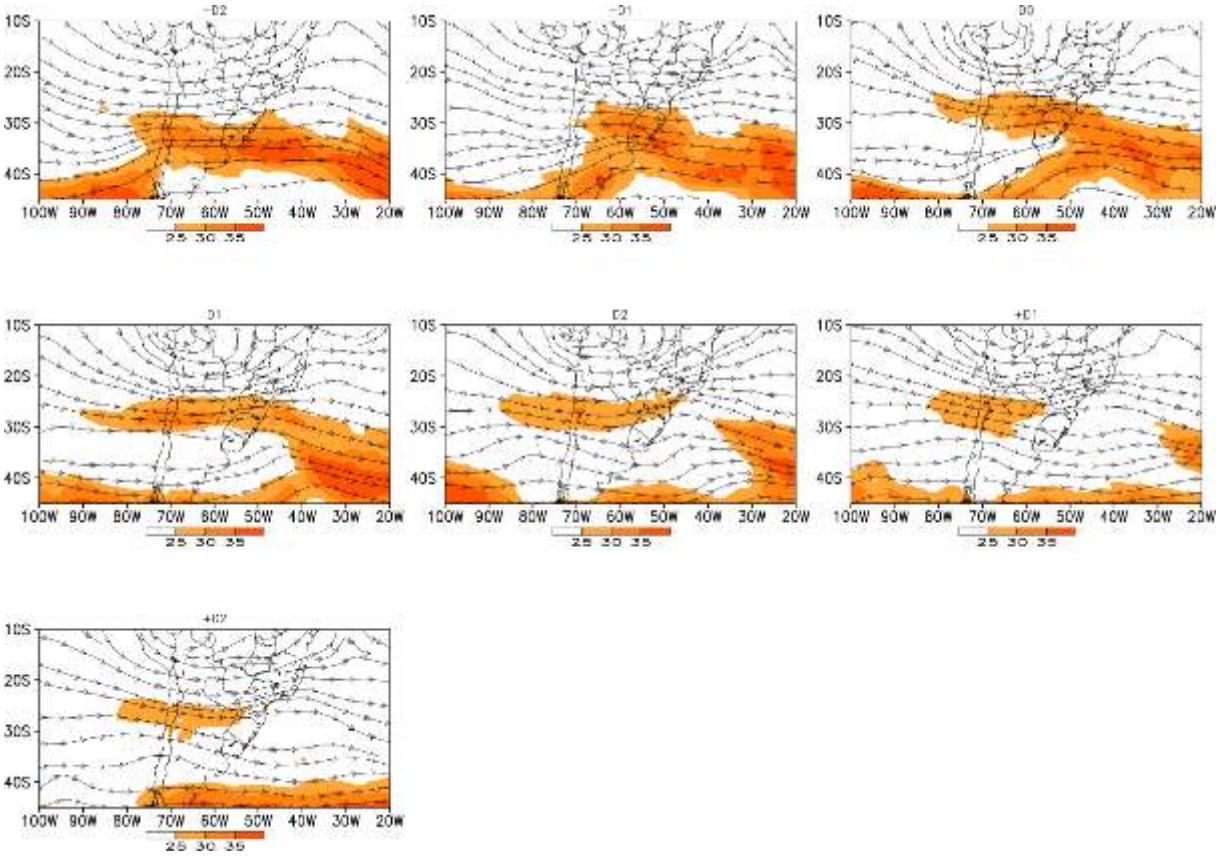
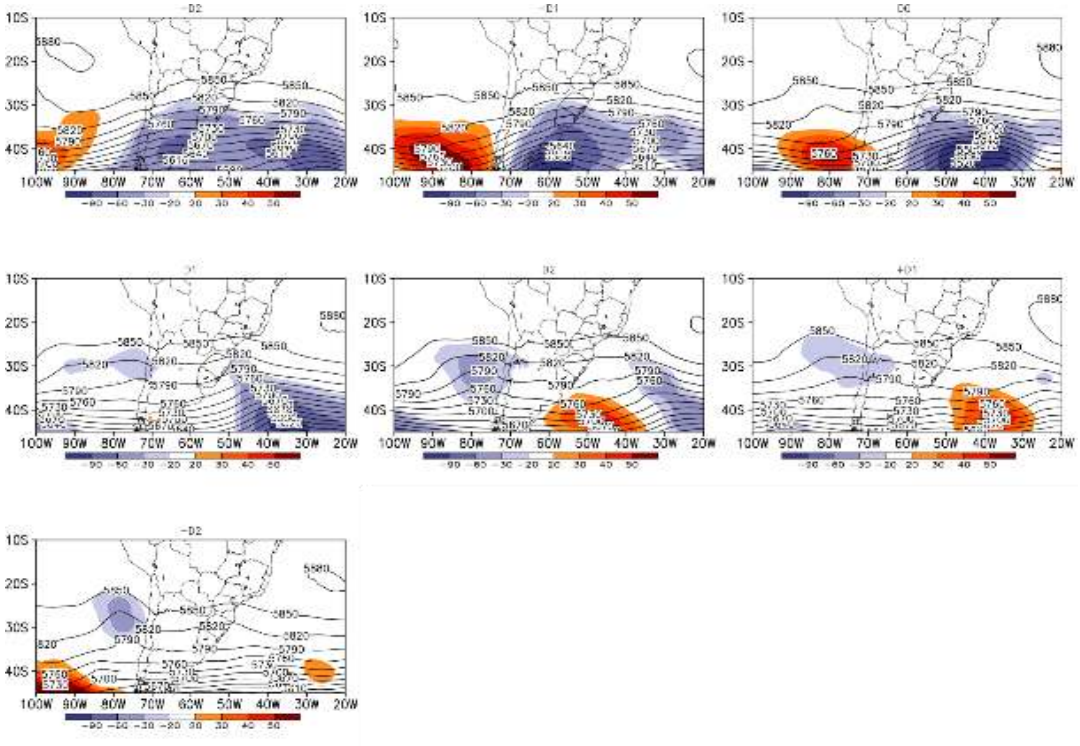


Figura 15 - Campos compostos para focos de calor com duração a partir de três dias: altura geopotencial (contorno, mgp) e anomalias em 500 hPa (sombreado, mgp) para os dias -D2, -D1, D0, D1, D2, +D1 e +D2 as 15 horas local.



Os campos compostos para os eventos C3 (Figura 16) tiveram em comum com C1 a passagem de sistemas frontais que se deslocam zonalmente ao sul de 35ºS, refletindo em anomalias negativas de geopotencial na troposfera média sobre a região de estudo, causando movimento vertical ascendente na metade norte do RS a partir de -D2, associado ao deslocamento de um cavado em médios níveis. A partir de D1, um sistema de alta pressão pós-frontal em superfície se desloca sobre a região de estudo, contribuindo para o movimento subsidente presente durante os dias -D1 a D2.

O movimento vertical ascendente observado sobre toda a região noroeste-sudeste do BR, configurado a partir de -D1 com suporte dinâmico do cavado que se desloca em médias latitudes (35S° e 55W°), indicam a presença de uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU, (ESCOBAR, 2017). presente nos níveis mais baixos da troposfera (Figura 17), semelhante ao observado em C2. Os sistemas transientes observados (Figura 15) contribuem para a convergência de umidade que permanece alguns dias, demonstrando que o sistema pode variar sua atuação desde o litoral de Santa Catarina ao litoral do Espírito Santo (ESCOBAR, 2017).

Esse corredor de umidade, uma vez que estacionário, contribui para o baixo

acumulado de precipitação na região sul e um deslocamento mais vagaroso do sistema de alta pressão em superfície, o que tem como consequência a permanência maior das anomalias negativas de UR observadas sobre a região de estudo, refletidas também no ressecamento da camada mais baixa da troposfera durante todo o período (Figura 19). A presença de uma massa de ar seco é observada desde -D2 a D2 o que representa a pré-existência de um ambiente favorável a ocorrência de FC (que permaneceu persistente por alguns dias), favorecido pela circulação anticiclônica observada em baixos níveis, que traz consigo um escoamento seco e mais frio de latitudes mais altas (Figura 17 e Figura 18). Ainda, semelhante a C1 e diferente do encontrado em alguns estudos, foram observadas anomalias negativas de temperatura sobre a região da ESEC Taim e CN, onde a variação da temperatura em superfície (T2m) ficou entre 19/25ºC durante os dias -D2 a D1.

Figura 16 - Campos compostos para focos de calor com duração a partir de três dias: altura geopotencial em 500 hPa (mgp, linha pontilhada rosa), PNMM (linha contínua preta) e ômega (sombreado, 10 Pa.s^{-1}) em 500 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, D2, +D1 e +D2 as 15 horas local.

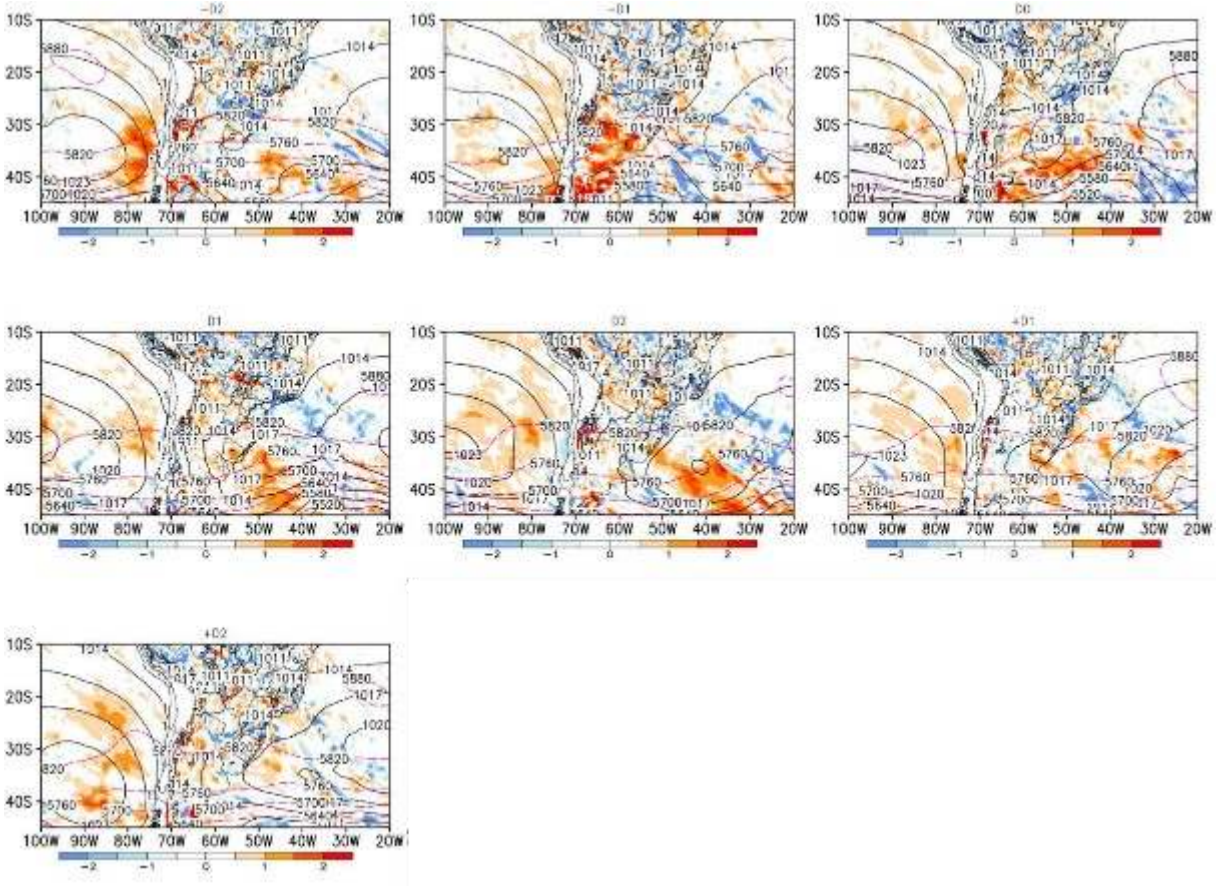


Figura 17 - Campos compostos para focos de calor com duração a partir de três dias: linha de corrente em 850 hPa (contorno), umidade relativa (contorno, %) e anomalia de umidade relativa (sombreado) em 850 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, D2, +D1 e +D2 as 15 horas local.

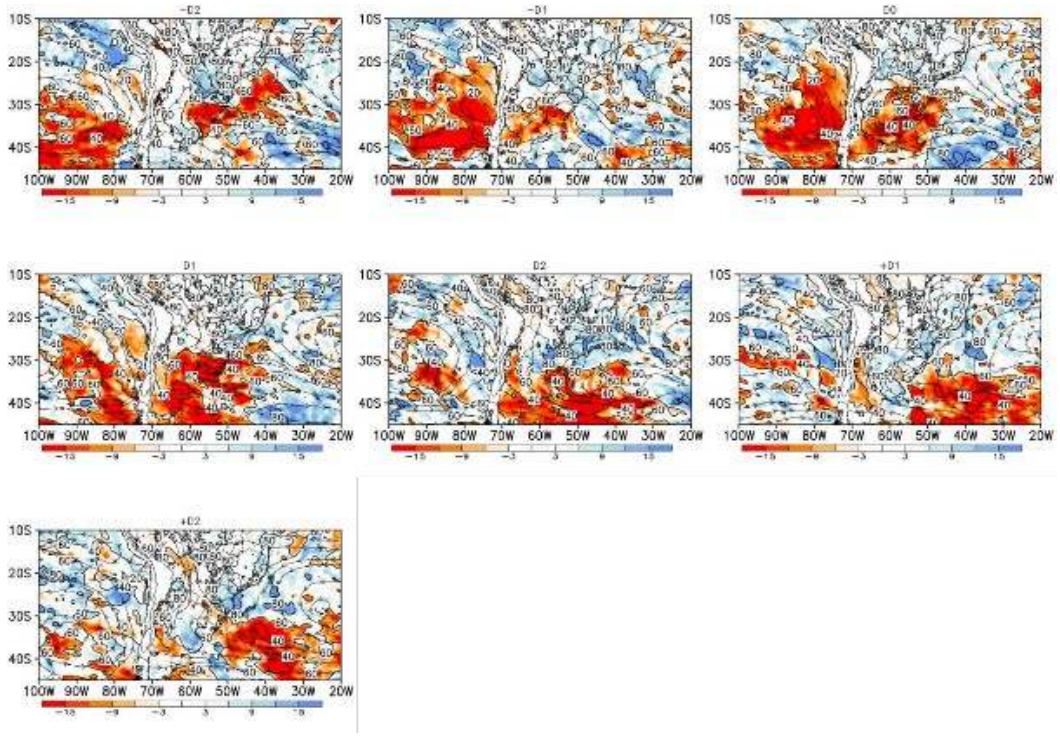


Figura 18 – Campos compostos para focos de calor com duração partir de três dias: linha de corrente (contorno, ms^{-1}) em 850 hPa, temperatura (contorno, em ºC) e anomalia de temperatura (sombreado, em ºC) em 850 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, D2, +D1 e +D2 as 15 horas local.

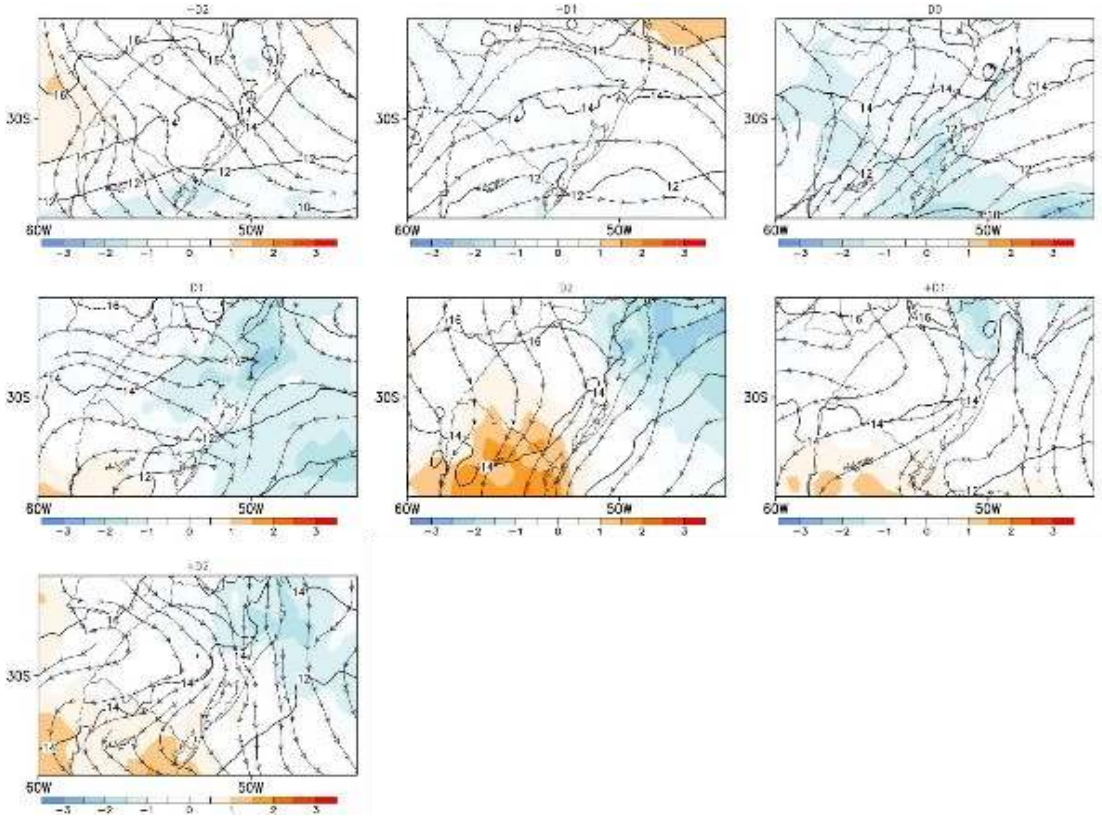
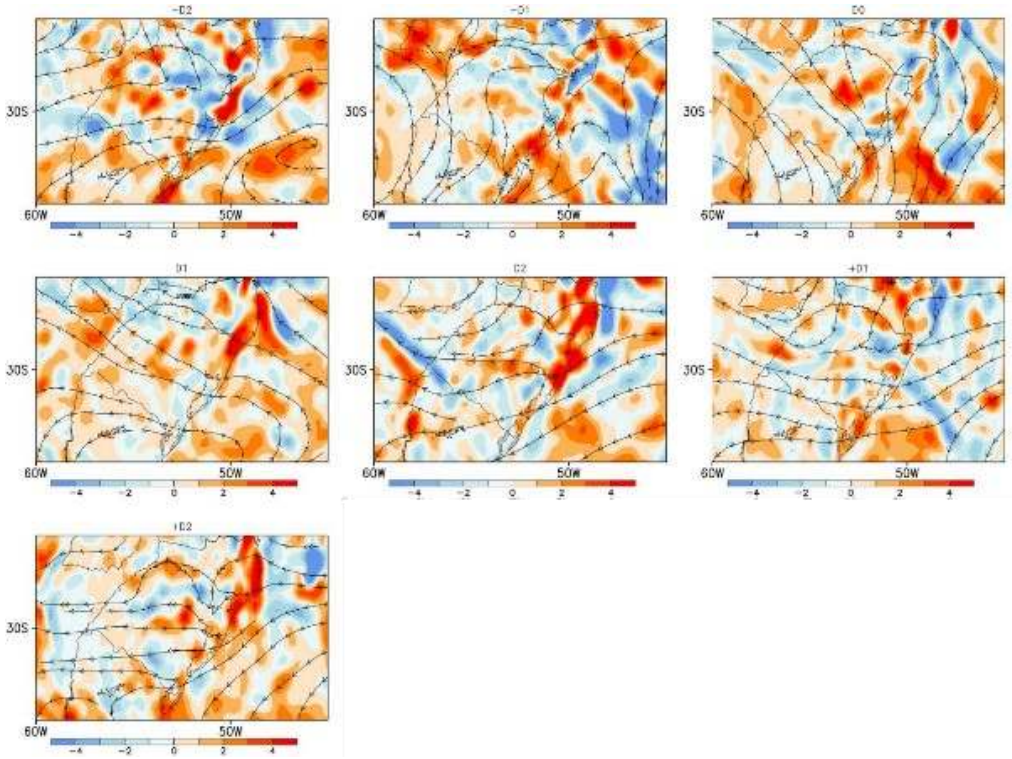


Figura 19 - Campos compostos para focos de calor com duração a partir de três dias: divergência (valores positivos) do fluxo de umidade (anomalia, sombreado, 10^{-4} $kgm^{-2}s^{-1}$) integrada na vertical entre os níveis de 1000 e 700 hPa para os dias -D2, -D1, D0, D1, +D1 e +D2 as 15 horas local.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entender o efeito que as variações do tempo e clima exercem na ocorrência de FC e IF são de extrema importância para avaliações efetivas dos riscos de sua ocorrência. Neste estudo, foram feitas análises sinóticas, por meio de campos compostos, a fim de verificar a ocorrência de padrões meteorológicos que possam ter influenciado a ocorrência de fogo na região da ESEC Taim e CN. O ambiente atmosférico predominante durante os períodos que ocorreram os FC mostrou em C1, C2 e C3 um padrão de circulação na alta troposfera característico do verão no Hemisfério Sul, com a presença da AB e do CNB. Entretanto, particularidades puderam ser observadas em cada um dos três padrões observados.

Em C2 e C3 foi observado em comum uma circulação que favoreceu a canalização de um corredor de umidade em níveis baixos, médios e altos da troposfera sobre a região norte/noroeste do BR. Tal configuração permaneceu persistente durante os dias em que os FC foram observados, e, assim como encontrado na literatura, favoreceu o déficit de umidade na coluna de ar da atmosfera, sobre a região de estudo. Em C1 e C3 as similaridades se deram na passagem de um sistema frontal em superfície ao sul de 35ºS, e em sua vanguarda um

sistema de alta pressão pós-frontal em superfície, que favoreceu a manutenção de anomalias negativas de UR, além de temperaturas anomalamente baixas para o período na ESEC Taim e CN. Apesar da semelhança relacionada às baixas temperaturas, a diferença na duração dos eventos se dá na presença de um corredor de umidade, observado em C3, que favorece um deslocamento mais vagaroso e ao sul, de sistemas transientes.

Diferente de C1 e C3, o escoamento observado em baixos níveis da troposfera para C2, inicialmente de sul/sudeste passa a norte/noroeste, favorecendo a intensificação das anomalias positivas de temperatura e mantendo declínio de umidade sobre a região de estudo, em 850hPa, fator importante e comum a C1, C2 e C3. Ou seja, para os FC na região da ESEC Taim e CN os déficits de umidade são mais importantes que as altas temperaturas, como é descrito na literatura. Os eventos tiveram em comum a ocorrência dos FC em um ambiente estável; além de 64% dos casos terem ocorrido na presença de um corredor de umidade, apresentando características de ZCAS para C2 e ZCOU para C3. Logo, a passagem da frente fria não tem o papel de causar precipitação sobre a região de estudo, sendo a sua principal contribuição a de gerar uma estabilidade pós-frontal, associada ao deslocamento da alta pressão, o que favorece a intensificação de um ambiente com déficit umidade devido a consequente subsidência. A tabela 5 representa um resumo dos pontos mais importantes observados para cada um dos padrões atmosféricos encontrados neste estudo. Sugere-se como trabalhos futuros, o estudo da influência da maritimidade na ocorrência de FC na região da ESEC Taim.

Tabela 5 - Principais características atmosféricas observadas para os padrões atmosféricos observados durante a ocorrência de FC com duração de um dia (C1), dois dias (C2) e a partir de três dias (C3) sobre a região de estudo.

	C1	C2	C3
Anomalias de T	Negativa	Positiva	Negativa
Anomalias de UR	Negativa	Negativa	Negativa
Movimento vertical	Subsidência	Subsidência	Subsidência
*Corredor de Umidade	Não	Sim (ZCAS)	Sim (ZCOU)

T = temperatura
UR = Umidade Relativa
*sobre a região noroeste-sudeste do BR, que favorece o déficit de umidade na região de estudo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C,T; OLIVEIRA-JUNIOR, J,F; DELGADO, R,C; CUBO, P; RAMOS, M,C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013**. Int. J. Climatol**. V. 37, p. 2013–2026. 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4831

ANDREOLI, R.V., DE OLIVEIRA, S.S., KAYANO, M.T., VIEGAS, J., DE SOUZA, R.A.F., CANDIDO, L.A., 2017. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. **Int. J. Climatol.** 37, 1374–1390. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4783

ARAGÃO, L.E.O.C., MALHI, Y., BARBIER, N., LIMA, A., SHIMABUKURO, Y., ANDERSON, L., Saatchi, S., 2008. **Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia**. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 363, 1779–1785. DOI : https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0026

BARBOSA, M.L.F., DELGADO, R.C., TEODORO, P.E., PEREIRA, M.G., CORREIA, T.P., de MENDONÇA, B.A.F., Ávila Rodrigues, R. de, 2019. Occurrence of fire foci under different land uses in the State of Amazonas during the 2005 drought. **Environ. Dev. Sustain**. 21, 2707–2720. DOI : https://doi.org/10.1007/s10668-018-0157-4

BELMECHERI, S., Babst, F., HUDSON, A.R., BETANCOURT, J., TROUET, V., 2017. **Northern Hemisphere jet stream position indices as diagnostic tools for climate and ecosystem dynamics**. Earth Interact. 21, 1–23. DOI: https://doi.org/10.1175/EI-D-16-0023.1

CARLOS, G., ESCOBAR, J., 2019. **CRITÉRIO PARA DETECÇÃO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL.**

CAÚLA, R.H., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F., Lyra, G.B., DELGADO, R.C., HEILBRON FILHO, P.F.L., 2015.

Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environ. Earth Sci. 74, 1497–1508**. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665- 015-4142-Z

CAVALCANTI I.F.A., FERREIRA N.J., DIAS M.A.F.S., Silva, M.G.A.J. **Tempo e clima no Brasil**. 2009.

CHEN, S., Zha, X., 2018. Effects of the ENSO on rainfall erosivity in the Fujian Province of southeast China. **Sci. Total Environ.** 621, 1378–1388. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.090

COELHO, C. A., and Coauthors, 2016: The 2014 southeast Brazil austral summer drought: Regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dyn**., 46, 3737–3752,. DOI: https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1 .

Corpo de Bombeiros Militar do Goias, 2017. **Manual Operacional de Bombeiros**. **Man. Prevenção e Combat. a Incêndios Florestai**s 01, 260.

COSTA, B.S.C. da, FONSECA, E.L. da, 2017. **The Use of Fire Radiative Power to Estimate the Biomass Consumption Coefficient for Temperate Grasslands in the Atlantic Forest Biome.** Rev. Bras**.** Meteorol. 32, 255–260. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863220004

DE ANDRADE, C.F., DELGADO, R.C., BARBOSA, M.L.F., TEODORO, P.E., JUNIOR, C.A. d. S., WANDERLEY, H.S., CAPRISTO-SILVA, G.F., 2020. **Fire regime in Southern Brazil driven by atmospheric variation and vegetation cover. Agric**. For. Meteorol. 295, 108194. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108194

DE FARIA, B.L., Brando, P.M., Macedo, M.N., Panday, P.K., Soares-Filho, B.S., Coe, M.T., 2017. **Current and future patterns of fire-induced forest degradation in amazonia**.

Environ. Res. Lett. 12. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa69ce

DOS SANTOS CLEMENTE, S., DE OLIVEIRA JÚNIOR, J.F., PASSOS LOUZADA, M.A., 2017. **Focos de calor na mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro.** Rev. Bras. Meteorol. 32, 669–677. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786324014

DOWDY, A.J., Ye, H., Pepler, A., THATCHER, M., Osbrough, S.L., EVANS, J.P., DI VIRGILIO, G., MCCARTHY, N., 2019**. Future changes in extreme weather and pyroconvection risk factors for Australian wildfires.** Sci. Rep. 9, 1–11. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-46362-x

EUGENIO, F.C., dos Santos, A.R., Pedra, B.D., Macedo Pezzopane, J.E., MAFIA, R.G., LOUREIRO, E.B., Martins, L.D., Saito, N.S., 2019. **Causal, temporal and spatial statistics of wildfires in areas of planted forests in Brazil.** Agric. For. Meteorol. 266–267, 157–172. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.014

FERREIRA-LEITE, F., GANHO, N., BENTO-GONÇALVES, A., BOTELHO, F., 2017. Iberian atmosferic dynamics and large forest fires in mainland Portugal. Agric. For. Meteorol. 247, 551–559. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.033

FLANNIGAN, M.D., AMIRO, B.D., LOGAN, K.A., STOCKS, B.J., WOTTON, B.M., 2006. Forest fires and climate change in the 21ST century. **Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 11, 847–859.** DOI: https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7

FLANNIGAN, M.D., WOTTON, B.M., 2001. Climate, Weather, and Area Burned. **For. Fires 351–373.** DOI: https://doi.org/10.1016/b978-012386660-8/50012-x

FOGO PARQUE NACIONAL DAS EMAS. Brasília: **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**, 2004.

FONSECA, M.G., ALVES, L.M., AGUIAR, A.P.D., ARAI, E., ANDERSON, L.O., ROSAN, T.M., SHIMABUKURO, Y.E., DE ARAGÃO, L.E.O. e. C., 2019. **Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. Glob. Chang.** Biol. 25, 2931–2946. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.14709

FREITAS, S.R., LONGO, K.M., ALONSO, M.F., PIRRE, M., MARECAL, V., GRELL, G., STOCKLER, R., MELLO, R.F., SÁNCHEZ GÁCITA, M., 2011. PREP-CHEM-SRC - 1.0: A preprocessor of trace gas

and aerosol emission fields for regional and global atmospheric chemistry models. **Geosci. Model Dev. 4, 419–433.** DOI: https://doi.org/10.5194/gmd-4-419-2011

GAN, M., KOUSKY, V. E., ROPELEWSKI, C. F. 2004. **The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. Journal of Climate.** 17, 47–66.

GIGLIO, L., DESCLOITRES, J., JUSTICE, C.O., KAUFMAN, Y.J., 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. **Remote Sens. Environ. 87, 273–282**. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6

HANTSON, S. et al. **The status and challenge of global fire modelling**. 25 jan. 2016.DOI: https://doi.org/10.5194/bg-2016-17

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 15 jun. 2020.DOI: https://doi.org/10.1002/qj.3803.

HOLTON, J. R. 1992. **An Introduction to Dynamical Meteorology. Academic Press, 3ª ed**. New York, NY.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica (IBGE) https://cidades.ibge.gov.br/>. (accessed 30 March. 2020).

JAIN, P., Flannigan, M., 2021. THE RELATIONSHIP BETWEEN THE POLAR JET STREAM AND EXTREME WILDFIRE EVENTS IN NORTH AMERICA. J. Clim. 1–59. DOI: https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0863.1

JUSTINO, F., DE MÉLO, A.S., Setzer, A., Sismanoglu, R., Sediyama, G.C., Ribeiro, G.A., Machado, J.P., Sterl, A., 2011. Greenhouse gas induced changes in the fire risk in Brazil in ECHAM5/MPI-OM coupled climate model. Clim. Change 106, 285–302. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-010-9902-x

Kochi, I., Donovan, G.H., Champ, P.A., Loomis, J.B., 2010. The economic cost of adverse health effectsfrom wildfire-smoke exposure: A review. Int. J. Wildl. Fire 19, 803–817. DOI: https://doi.org/10.1071/WF09077

KOEPPEN, W. 1948.Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica.

KOPROSKI, L., FERREIRA, M.P., GOLDAMMER, J.G., BATISTA, A.C., 2011. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: O caso do parque estadual do cerrado (PR). **Floresta 41, 551–562**. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v41i3.24049

LAPOLA, D.M., SILVA, J.M.C. D., BRAGA, D.R., CARPIGIANI, L., OGAWA, F., TORRES, R.R., BARBOSA, L.C.F., OMETTO, J.P.H.B., JOLY, C.A., 2020. **A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas.** Conserv. Biol. 34, 427–437. DOI: https://doi.org/10.1111/cobi.13405

LIU, Y., STANTURF, J., GOODRICK, S., 2010. Trends in global wildfire potential in a changing climate. **For. Ecol. Manage**. 259, 685–697. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.002

MEDEIROS, M.B. DE, FIEDLER, N.C., 2004. Incêndios florestais no parque nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florest**. 14, 157. DOI: https://doi.org/10.5902/198050981815

MORALES, W., YAMASAKI, Y., 2016. Análise Da Convergência Do Fluxo De Umidade Verticalmente Integrada Sobre O Brasil Previsto Pelo Modelo Wrf. **Ciência e Nat. 38**. DOI: https://doi.org/10.5902/2179460x17998

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2019. **Painel de Unidades de Conservação Brasileiras**. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmZ%20TA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJlNzFkOGM5NW%20Q4IiwidCI6IjJiMjY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwL%20TYzNDY3NTJmMDNlNCIsImMiOjF9>. (acessed 20 January 2020)

MOTTA MARQUES, D., RODRIGUES, L.R., FRAGOSO, C.R., TASSI, R., BRAVO, J.M., TUCCI, C., CALAZANS, D., CALLEGARO, V.L.M., VILLANUEVA, A., 2002. O Sistema Hidrológico do TAIM. Os sites e o programa Brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração. PELD- CNPq 188.

NASCIMENTO, A.L.S., TEIXEIRA, M.S., ALONSO, M.F; JACONDINO W.D. Evaluation of Active Fire Occurrence in the ecological station region and Campos Neutrais, Rio Grande do Sul – Brazil. Anuário do Instituto de Geociências, 43(4): 460-469, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_460_469

NASCIMENTO, A.L.S., TEIXEIRA, M.S., ALONSO, M.F., 2021. Incêndio na Estação Ecológica do Taim em 2013: Análise do Ambiente Atmosférico e Dispersão de Poluentes Introdução 11, 109–120. DOI: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i4.1772

NATALIE, G. S. B.; CASCAIS, L. B.; SILVA L. H. G.; MIURA A. K. Detecção de áreas queimadas na Estação Ecológica do Taim (RS), causada pelos incêndios de 2008 e 2013. **Anais** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE

OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F. DE, TEODORO, P.E., SILVA JUNIOR, C.A. DA, BAIO, F.H.R., GAVA, R., CAPRISTO-SILVA, G.F., GOIS, G. DE, CORREIA FILHO, W.L.F., LIMA, M., SANTIAGO, D. DE B., FREITAS, W.K., SANTOS, P.J. DOS, COSTA, M. DA S., 2020. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Agric. **For. Meteorol. 282–283, 107861.** DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107861

OLIVEIRA, U., SOARES-FILHO, B., DE SOUZA COSTA, W.L., GOMES, L., BUSTAMANTE, M., MIRANDA, H., 2021. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado**. For. Ecol. Manage.** 482, 118889. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118889

PAGE, W.G., FREEBORN, P.H., BUTLER, B.W., JOLLY, W.M., 2019. A classification of US wildland firefighter entrapments based on coincident fuels,weather, and topography. Fire 2, 1–23. DOI: https://doi.org/10.3390/fire2040052

PALAZZI, G., 2018. a Meta Para O Sistema De Áreas Protegidas No Bioma Pampa: Como Estamos E Para Onde Vamos? 45.

PASCHALIDOU, A.K., KASSOMENOS, P.A., 2016. What are the most fire-dangerous atmospheric circulations in the Eastern-Mediterranean? Analysis of the synoptic wildfire

climatology. **Sci. Total Environ. 539, 536–545.** DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.039

PEREIRA BRITTO, F., BARLETTA, R., MENDONÇA, M., 2008. Regionalização Sazonal E Mensal Da Precipitação Pluvial Máxima No Estado Do Rio Grande Do Sul. **Rev. Bras. Climatol. 3, 35–51.** DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25425

PEREIRA, H.R., REBOITA, M.S., AMBRIZZI, T., 2017. Characteristics of the atmosphere in the austral spring during the el niño 2015/2016. **Rev. Bras. Meteorol. 32, 293–310.** DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863220011

PEREIRA, M.G., TRIGO, R.M., DA CAMARA, C.C., PEREIRA, J.M.C., LEITE, S.M., 2005. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. Agric. **For. Meteorol. 129, 11–25.** DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.12.007

PETERSON, D., WANG, J., ICHOKU, C., REMER, L.A., 2010. Effects of lightning and other meteorological factors on fire activity in the North American boreal forest: Implications for fire weather forecasting. **Atmos. Chem. Phys. 10, 6873–6888**.DOI: https://doi.org/10.5194/acp-10-6873-2010

PETROLIAGKIS, T., LIBERTA, G., ARTES, T., RODRIGUEZ-ASERETTO, D., DI LEO, M., SAN-MIGUEL-AYANZ, J., 2015. Stability of atmospheric flow and low-level jets influencing forest fire behavior - An EFFIS report. EUR – Sci. Tech. Res. Ser. EUR 27362, 30. DOI: https://doi.org/10.2788/54976

PRINS, E.; FELTZ, J.; MENZEL, W.; WARD, D. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America, J. **Geophys. Res**, v. 103 (D24), p. 31821–31835, 1998.

RODRIGUES, M., GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C., PEÑA-ANGULO, D., JIMÉNEZ-RUANO, A., 2019.

Identifying wildfire-prone atmospheric circulation weather types on mainland Spain. **Agric. For. Meteorol. 264, 92–103**. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.005

ROSSO, F.V., 2017. A Zona de Convergência do Atlantico Sul e sua relação com a Oscilação Antártica 0–59.

SCHUMACHER, V., SETZER, A., SABA, M.M.F., NACCARATO, K.P., MATTOS, E., JUSTINO, F., 2022. Characteristics of lightning-caused wildfires in central Brazil in relation to cloud-ground and dry lightning. Agric. For. **Meteorol. 312, 108723.** DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108723

SETZER, A.W., PEREIRA, M.C., 1991. Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. Ambio. DOI: https://doi.org/10.2307/4313765

SILVA, C.H.L., ARAGÃO, L.E.O.C., FONSECA, M.G., ALMEIDA, C.T., VEDOVATO, L.B., ANDERSON, L.O., 2018. **Deforestation-induced fragmentation increases forest fire occurrence in central Brazilian Amazonia. Forests 9**. DOI: https://doi.org/10.3390/f9060305

SILVA, P., BASTOS, A., DACAMARA, C.C., LIBONATI, R., 2016. Projeções futuras de ocorrência de fogo no Brasil usando o modelo EC-Earth. Rev. Bras. **Meteorol. 31, 288–297.** DOI: https://doi.org/10.1590/0102-778631320150142

SKINNER, W.R., FLANNIGAN, M.D., STOCKS, B.J., MARTELL, D.L., WOTTON, B.M., TODD, J.B., MASON, J.A., LOGAN, K.A., BOSCH, E.M., 2002. **A 500 hPa synoptic wildland fire climatology for large Canadian forest fires, 1959-1996**. Theor. Appl. Climatol. 71, 157–169. DOI: https://doi.org/10.1007/s007040200002

TAN, X., CHEN, S., GAN, T.Y., LIU, B., CHEN, X., 2019. Dynamic and thermodynamic changes conducive to the increased occurrence of extreme spring fire weather over western Canada under possible anthropogenic climate change. Agric. **For. Meteorol. 265, 269– 279.** DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.026

TASSI, R., 2008. Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas.

TORRES, F.T.P., LIMA, G.S., COSTA, A. DAS G., FÉLIX, G. DE A., DA SILVA JÚNIOR, M.R., 2017. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Floresta 46, 531–541.** DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v46i3.44199

TORRES, F.T.P., RIBEIRO, G.A.Ç., MARTINS, S.V., LIMA, G.S., 2011. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Rev. Arvore 35, 143–150.** DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100017

TRENTIN, C.B., 2015. Estoques De Carbono Nas Áreas De Vegetação Campestre Da Área De Proteção Ambiental (Apa) Do Ibirapuitã 98.

WALLACE, J. M., HOBBS, P. V. 2006. Atmospheric science: an introductory survey. **Amsterdam, Elsevier Academic Press.**

ESTERLING, A.L., GERSHUNOV, A., BROWN, T.J., CAYAN, D.R., DETTINGER, M.D., 2003. Climate and wildfire in the western United States. **Bull. Am. Meteorol. Soc. 84, 595-604+548.** DOI: https://doi.org/10.1175/BAMS-84-5-595

ZHOU, J., LAU, K. M. 2001.Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America**. International Journal of Climatology**. ISSN 08998418