

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E SÍNTESE DOS PADRÕES SINÓTICOS EM EPISÓDIOS DE INUNDAÇÕES URBANAS EM CHAPECÓ/SC (1990-2019)

Andrey Luis **Binda**¹

(1 - Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS - Chapecó/SC, <https://orcid.org/0000-0003-0381-6219>, abinda@uffs.edu.br)

Resumo: Pesquisas anteriores realizadas em Chapecó, no oeste do estado de Santa Catarina, demonstraram que inundações urbanas são frequentes, sobretudo, devido às mudanças hidrológicas promovidas pelas alterações no uso e cobertura da terra decorrente da urbanização. Contudo, para além dos aspectos que envolvem as modificações nas rotas da água impostas pelo meio urbano, a dinâmica climática ainda é um fator preponderante como indutor das chuvas que causam excedente hídrico nos sistemas de drenagem. É neste sentido que se insere o presente trabalho que visa analisar os sistemas atmosféricos atuantes em episódios de inundações urbanas relatadas em manchetes de jornais locais (1990-2019). Nesses trinta anos foram computados 76 episódios de inundações urbanas, desencadeados por três sistemas atmosféricos: frentes, cavados e instabilidades convectivas. A partir da análise individual e em conjunto dos sistemas atmosféricos foi possível discriminar 10 tipologias simplificadas dos padrões sinóticos associados às inundações urbanas em Chapecó.

Palavras-chave: Circulação atmosférica. Centros de ação atmosférica. Cartas sinóticas.

ATMOSPHERIC SYSTEMS AND SYNTHESIS OF SYNOPTIC PATTERNS IN URBAN FLOOD EPISODES IN CHAPECÓ, SANTA CATARINA STATE, BRAZIL (1990-2019)

Abstract: Previous researches conducted in Chapecó, in west of Santa Catarina State, Brazil, has shown that urban flooding is frequent, mainly due to the hydrological changes resulting from urban land use and land cover. However, in addition to the aspects that involve the changes imposed by urban environment in the water routes, the climatic dynamics is still a preponderant factor as inducer of rainfall events that cause water excess in drainage systems. Thus, the present work aims to analyze the atmospheric systems acting during urban floods

episodes reported in local newspaper headlines (1990-2019). In these thirty years were accounted 76 episodes of urban flooding triggering for three atmospheric systems: fronts, trough and convective instabilities. From the individual and group analysis, it was possible to discriminate 10 simplified types of synoptic patterns associated with these urban flood episodes in Chapecó.

Keywords: Atmospheric dynamics. Atmospheric centers of action. Synoptic charts.

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS Y SÍNTESIS DE PATRONES SINÓPTICOS EN EPISODIOS DE INUNDACIONES URBANAS EN CHAPECÓ, ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL (1990-2019)

Resumen: Investigaciones previas conducidas en Chapecó, en el oeste del estado de Santa Catarina, Brasil, han demostrado que las inundaciones urbanas son frecuentes, principalmente debido a los cambios hidrológicos propiciados por en el uso y cobertura del suelo derivados de la urbanización. Sin embargo, además de los aspectos que involucran cambios en las rutas hídricas impuestos por el entorno urbano, la dinámica climática sigue siendo un factor de gran relevancia como inductor de las lluvias que provocan el exceso de agua en los sistemas de drenaje. Es en este sentido que se inserta el presente trabajo, que tiene como objetivo analizar los sistemas atmosféricos que actuaron en episodios de inundaciones urbanas reportados en noticias periodísticas locales (1990-2019). En estos treinta años se computaron 76 episodios de inundaciones urbanas, derivado de tres sistemas atmosféricos: frentes, vaguadas e inestabilidades convectivas. A partir del análisis individual y en conjunto de los sistemas atmosféricos fue posible diferenciar 10 tipologías simplificadas de los patrones sinópticos asociados a las inundaciones urbanas en Chapecó.

Palabras-clave: Circulación atmosférica. Centros de acción atmosférica. Cartas sinópticas.

Introdução

As inundações fazem parte do regime hidrogeomorfológico de rios e ocorrem na natureza com certa frequência. Leopold, Wolman e Miller (1964) propuseram que eventos associados ao extravasamento das águas do leito fluvial tendem a ocorrer com retorno de cerca de dois anos. Contudo, a ocupação humana, sobretudo com o desenvolvimento das cidades, tem promovido mudanças substanciais nas rotas dos fluxos de água, de tal forma, que estes fenômenos tem-se tornado não só mais frequentes, mas de maior intensidade. Diversos

autores relatam que inundações em áreas urbanas podem variar de duas até seis vezes em magnitude quando comparado com a condição pré-urbana antecedente (WOLMAN, 1967; LEOPOLD, 1991; CHIN, 2006).

Devido a essa particularidade, Tucci (2003), a título de exemplo, propõe uma diferenciação entre as *inundações de áreas ribeirinhas* – quando o nível d'água ultrapassa as margens do curso fluvial e ocupa as planícies de inundações – ; e as *inundações devido à urbanização* – onde o fator preponderante são as alterações hidrológicas desencadeadas pelo uso da terra urbana. Dentre essas alterações, destaca-se a crescente impermeabilização da superfície do solo, um fator influente no aumento do escoamento, em detrimento da infiltração. Se isso não bastasse, obras de drenagem urbana subdimensionadas ou mal projetadas amplificam o acúmulo d'água nos fundos de vale (AMARAL; RIBEIRO, 2009; BOTELHO, 2011). Buffon (2020) tipifica, ainda, as chamadas "inundações estruturais", quando a adoção de medidas estruturais nos rios urbanos, promovem com que a água retorne pelo sistema de galerias pluviais, inundando áreas adjacentes ao canal, mas não por extravasamento direto.

Sob essa perspectiva e partindo do pressuposto de que hoje, mais da metade da população mundial vive em cidades (UN/DESA, 2019), pode-se pontuar que a expansão urbana, a falta de infraestrutura básica e de drenagem urbana contribuem para que as inundações devido à urbanização se tornem parte do cotidiano das cidades. Marcelino (2008) relata que as inundações correspondem, tanto em nível mundial, como nacional, ao principal tipo de desastre natural. E de fato, basta acompanhar os noticiários e as manchetes jornalísticas que relatam acontecimentos recentes como estes em diferentes cidades do mundo, bem como, em todas as regiões geográficas brasileiras.

No Brasil, inclusive, o processo de urbanização tardio, iniciado em meados da década de 1960 produziu um verdadeiro remanejamento populacional: de um país essencialmente rural, para um país cada vez mais urbano (SANTOS, 1993). Contudo, o planejamento nas cidades brasileiras não acompanhou no mesmo ritmo a chegada desse contingente populacional, de tal modo, que a ocupação de áreas vulneráveis a inundações e as alterações hidrológicas promovidas pelo uso urbano, produziram um ambiente hidrológicamente nefasto: a cada episódio de chuva intensa, as cidades se afogam em suas próprias lágrimas.

Deve-se enfatizar, no entanto, que o fluxo migratório não se fez somente em direção aos grandes centros urbanos do país, mas pode ser também observado regionalmente, como

no caso específico da cidade de Chapecó, no oeste catarinense. Chapecó exerce hoje centralidade regional, o que se deve, sobretudo, à instalação de frigoríficos na cidade, ainda na década de 1960 (FACCO; FUJITA; BERTO, 2014). Assim, a economia atrelada à agroindústria e o crescente desenvolvimento do setor terciário promoveu com que a população municipal quadruplicasse, passando de aproximadamente 50 mil habitantes em 1970, para mais de 183 mil habitantes em 2010 e cuja estimativa para o ano de 2020 supera os 224 mil habitantes (NASCIMENTO, 2015; IBGE, 2020).

Como consequência do crescimento populacional e da urbanização, a expansão da cidade sobre os cursos d'água gerou uma relação conflitante. Inundações na área urbana de Chapecó são, por exemplo, observadas desde a década de 1950. Entretanto, com o passar dos anos os episódios tornaram-se mais frequentes, principalmente a partir da década de 1990. O interessante é que à medida que os rios urbanos eram esquecidos por meio de canalizações, essas mesmas obras, geraram inundações. Hoje, setores com drenagem subdimensionada constituem locais crônicos, onde a cada chuva intensa, ruas e construções próximas são invadidas pelas águas (BINDA; BUFFON; FRITZEN, 2012; BINDA, 2015).

Acerca dessa temática, carecem-se, ainda, de estudos que busquem avaliar os episódios de inundações urbanas em Chapecó e seus componentes atmosféricos desencadeadores. E é com a intenção de preencher essa lacuna que se insere o presente trabalho, o qual visa, num primeiro momento, analisar os episódios de inundações considerando o recorte temporal entre 1990 e 2019. No segundo momento, busca-se definir os sistemas atmosféricos atuantes em cada um desses episódios, para por fim, propor uma classificação síntese dos padrões sinóticos observados.

Material e métodos

Com a finalidade de se reconhecer e quantificar o número de episódios de inundações urbanas em Chapecó no lapso temporal de 1990 a 2019, realizou-se pesquisa histórica em jornais locais impressos – edições disponíveis na Biblioteca Pública Municipal de Chapecó “Neiva Maria Andreatta Costella” – , além de consulta a sítios da internet da imprensa local (sobretudo, para os episódios mais recentes). Os episódios de inundações urbanas encontrados foram, então, compilados mediante a leitura da redação apresentada, considerando a data de ocorrência referenciada na manchete. É importante salientar que, em muitos casos, as nomenclaturas empregadas nas manchetes abordavam inundações, enchentes e alagamentos

como sinônimos, diferente da aplicação corrente na literatura especializada¹ (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

De posse dessas informações preliminares, procedeu-se à análise, primeiramente, da distribuição (anual, estacional e mensal) desses episódios de inundações urbanas em Chapecó/SC. Após essa etapa, utilizou-se o Índice Oceânico Niño (ION)² – disponibilizado pelo Serviço de Meteorologia dos Estados Unidos (*National Weather Service*), órgão vinculado à Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) –, para avaliar possíveis associações entre os episódios de inundações urbanas e as diferentes fases do fenômeno oceânico-atmosférico El Niño Oscilação Sul (ENOS).

Posteriormente, buscou-se identificar o sistema atmosférico atuante em cada um desses episódios, tendo como base os trabalhos de Berezuk (2007) e Borsato (2016). Para tanto, foram empregadas as Cartas Sinóticas de superfície produzidas pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil³. Por fim, a partir do agrupamento dos episódios de inundação por sistema atmosférico desencadeador, procedeu-se à comparação visual entre eles com a finalidade de se identificar padrões sinóticos semelhantes. Assim, por meio da simplificação da informação encontrada nas cartas sinóticas de superfície, buscou-se definir tipologias específicas que exemplificassem a eventual disposição dos centros de ação (áreas de baixa e alta pressão atmosférica) na conformação dos padrões sinóticos.

Localização e características gerais da área de estudo

O município de Chapecó está localizado na região oeste do estado de Santa Catarina (Figura 1). Com uma população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2020) de cerca de 224 mil habitantes, é o quinto maior município em população do estado e dentre os quais, o único fora da faixa litorânea. Com uma economia baseada na presença da agroindústria, mas com um setor de serviços especializado e diversificado, o município desponta como um importante polo regional, exercendo influência não somente no

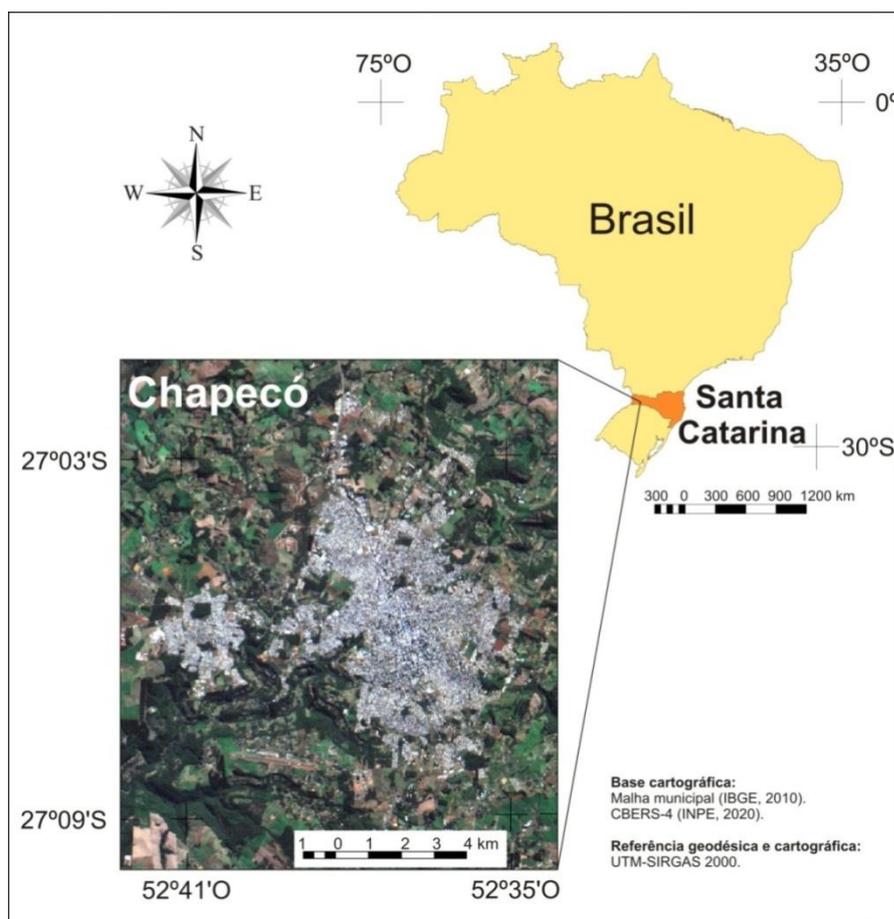
¹ Conforme Amaral e Ribeiro (2009), considera-se: inundações, ao extravasamento da água dos cursos d'água; enchentes/cheia, ao aumento no nível d'água no leito fluvial, precedente à inundação; e alagamento, ao acúmulo intermitente d'água decorrente da deficiência da rede de drenagem urbana.

² Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php> Acesso em: 20 out. 2020.

³ Disponíveis em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>> Acesso em: 03 fev. 2019.

oeste catarinense, mas também sobre o noroeste do estado do Rio Grande do Sul (FACCO; FUJITA; BERTO, 2014; NASCIMENTO, 2015).

Figura 1 – Localização da área urbana de Chapecó.

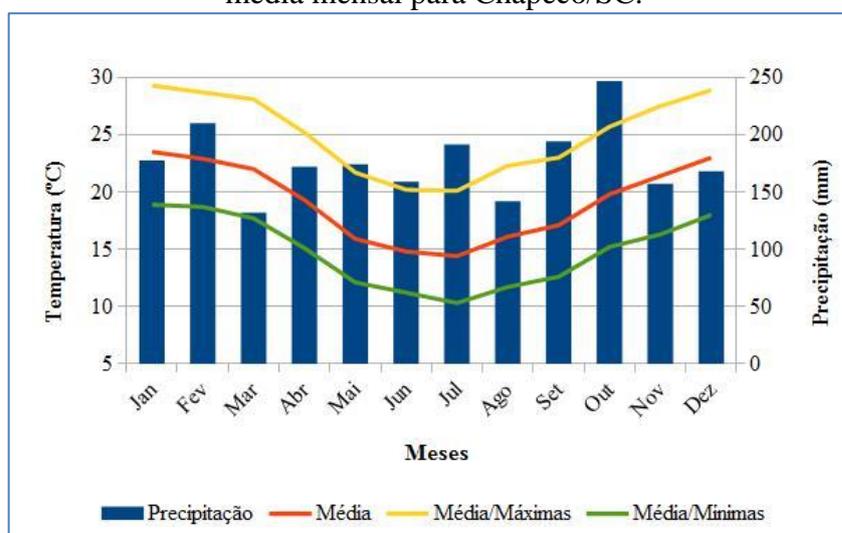


Org.: Autor (2021).

Localizado na faixa de clima subtropical úmido (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), ou Cfa – na classificação de Köppen – (PANDOLFO *et al.*, 2002), Chapecó tem como característica marcante a marcha sazonal da temperatura do ar, com invernos frios e verões quentes (Figura 2). No que se refere às precipitações, não há sazonalidade, de tal modo que as chuvas podem ocorrer em qualquer mês do ano, com médias que variam entre 130 a 250 mm (Figura 2) e pluviosidade média anual de 2.124 mm (INMET, 2020). Contudo, o trimestre mais chuvoso, corresponde aos meses de setembro, outubro e novembro (com pouco menos de 600 mm, ou aproximadamente 28% da média anual), estando condizente com a cartografia apresentada por Grimm (2009). Vale ressaltar, no entanto, que a precipitação, tanto mensal,

quanto anual apresenta elevada variabilidade (NIMER, 1989; ANDRADE; BALDO; NERY, 1999). Assim, registros de volumes significativos de chuva, bem como, de períodos de estiagem estão presentes no regime pluviométrico e tendem a ser modulados pelas fases do El Niño Oscilação Sul (ENOS) (MONTEIRO MA, 2001; MINUZZI, 2010).

Figura 2 – Temperaturas médias (média compensada, máxima e mínima) e precipitação média mensal para Chapecó/SC.



Fonte: Normal Climatológica (1981-2010) (INMET, 2020).

No que tange aos aspectos do sítio urbano, este se encontra assentado num platô com relevo suavemente ondulado, predominantemente suportado por rochas ácidas (dacitos e riodacitos) do tipo Chapecó, pertencentes à Formação Serra Geral (NARDY, 1996). Neste setor, a drenagem é composta por cursos fluviais de pequeno porte – rios de até 3ª ordem – que escoam no sentido leste/nordeste para oeste. Deve-se enfatizar que o contato litológico com os basaltos na faixa oeste da cidade enseja o aprofundamento da rede de drenagem, momento onde passa a predominar vales encaixados que se estendem em direção ao rio Uruguai.

Em linhas gerais, os rios que cortam a área urbana de Chapecó se distribuem em oito bacias hidrográficas, sendo a principal, a do Lajeado Passo dos Índios. Merece destaque ainda, as bacias hidrográficas do Lajeado Taquarussuzinho e do Lajeado São José, este último, manancial de abastecimento urbano (BINDA, 2015). É importante salientar, que os cursos d'água presentes nestas bacias hidrográficas urbanas encontram-se bastante modificados, seja pelo uso da terra urbana, como por obras de engenharia (retificação e

canalização, por exemplo). Tais medidas estruturais intensivas foram empregadas no passado como tentativa de evitar inundações, mas por vezes atuaram, tão somente para intensificá-las (BINDA; FRITZEN, 2013).

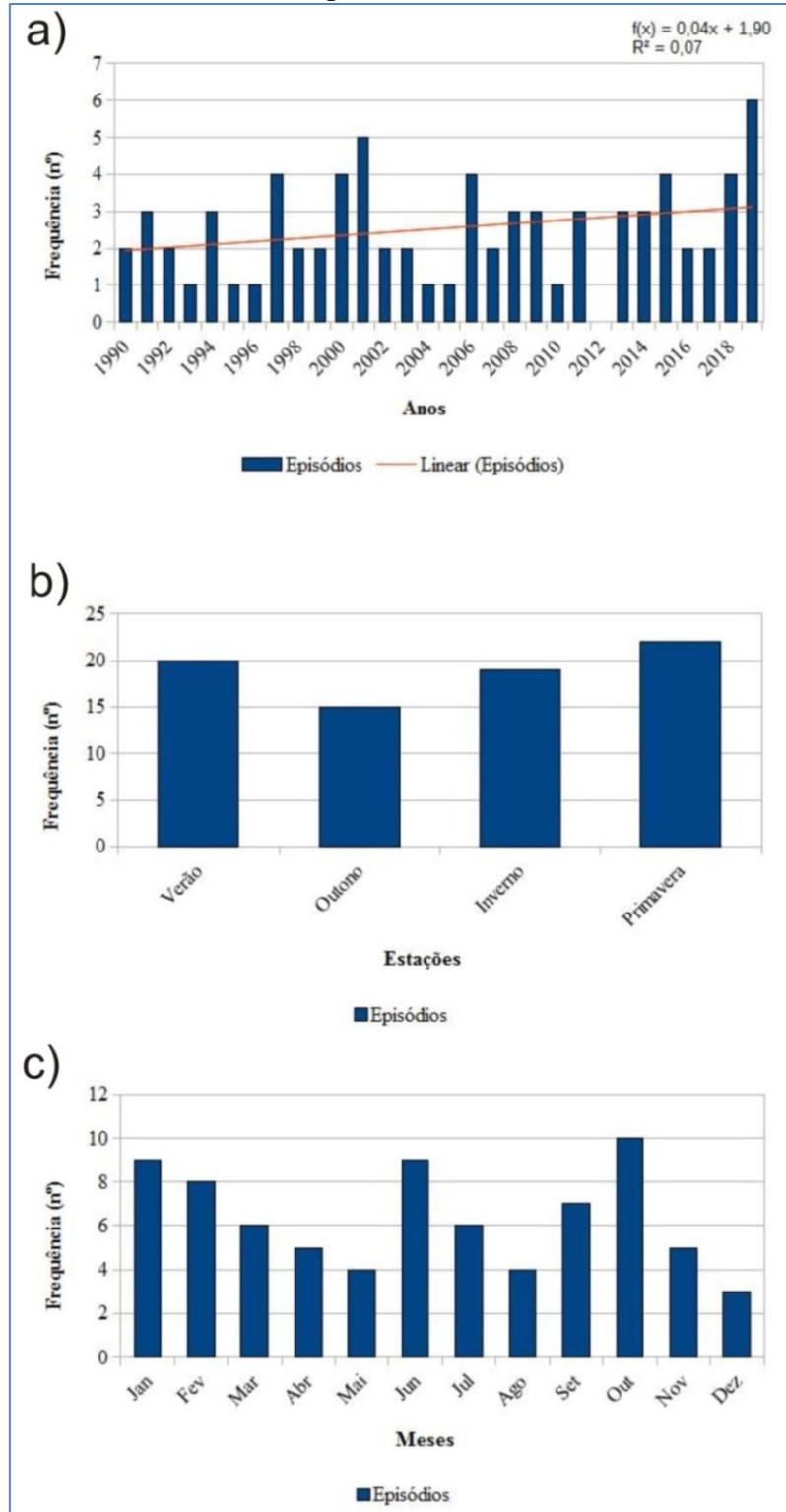
Resultados e discussões

A distribuição anual, mensal e estacional dos episódios de inundações urbanas

A partir do levantamento em jornais locais impressos e em sítios da internet, quantificou-se 76 episódios de inundações urbanas em Chapecó entre 1990 e 2019. Com exceção do ano de 2012, todos os demais apresentaram ao menos, um episódio, sendo 2019 (seis episódios), 2001 (cinco episódios) e 1997, 2000 e 2018 (quatro episódios cada), aqueles com maior número total (Figura 3a). A distribuição anual dos episódios apresenta tendência positiva (com base na regressão linear), embora o coeficiente de determinação (R^2) aponte para uma correlação muito baixa. Comparando os episódios de inundações urbanas com as respectivas fases do ENOS, identificou-se que 29 episódios (38%) ocorreram durante El Niño propriamente dito, seguido pelas fases neutras, com 26 episódios (34%) e de La Niñas, com 21 episódios (28%). Embora mais frequentes durante as fases quentes, é impossível afirmar que os episódios de inundação urbana sejam modulados pelo ENOS, uma vez que outros fatores, inclusive externos à atmosfera podem influenciar decisivamente, conforme será abordado mais adiante.

Considerando a distribuição por estações (Figura 3b), a primavera desponta como a mais propícia, com 22 episódios (29%), passando imediatamente para o verão, com 20 episódios (26%) até atingir o mínimo de 15 episódios (20%) no outono, a partir do qual, voltar a subir para totalizar 19 episódios (25%) no inverno. Contudo, ao se observar a distribuição mensal dos episódios (Figura 3c), observa-se a ocorrência de três máximos (janeiro, junho e outubro) separados, igualmente, por três mínimos (maio, agosto e dezembro).

Figura 3 - Distribuição anual (a), estacional (b) e mensal (c) dos episódios de inundações urbanas em Chapecó/SC entre 1990 e 2019.



Org. Autor (2021).

Nota-se que tanto a distribuição estacional, como a mensal é somente parcialmente explicada pelo regime pluviométrico. As chuvas por não apresentarem sazonalidade e dada a elevada variabilidade pluviométrica (NIMER, 1989; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), permitem com que episódios de inundações urbanas possam ocorrer em qualquer período do ano. Todavia, deve-se salientar que as inundações – sobretudo, aquelas devido à urbanização – podem ser desencadeadas tanto por chuvas de longa duração e elevado volume, como por chuvas intensas e de curta duração (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

Back, Wildner e Garcez (2019) constataram que as chuvas máximas anuais (1973-2016) em Chapecó/SC (média de 104,9±28,1 mm) ocorreram majoritariamente concentradas nos meses de abril, maio, junho e outubro, enquanto que os eventos pluviométricos >100 mm/dia predominaram entre os meses de maio a julho e secundariamente em outubro. Essas informações são pertinentes pois evidenciam, sobretudo, que os picos nos números de episódios de inundações urbanas observados em junho e outubro (Figura 3c) possam estar conectados a essa concentração de chuvas intensas, conforme apontado pelos autores ora citados.

Ademais, as estatísticas descritivas apresentadas por Back (2006), mostram, por exemplo, que as chuvas máximas anuais em Chapecó podem atingir intensidades de 65 mm/h, com máximos de 16 mm/5 min. Chuvas com tais valores de intensidade, em ambiente urbano onde prevalece a impermeabilização do solo e o tempo de concentração é diminuto são condizentes com crises hídricas nos sistemas de drenagem e inundações urbanas. Aqui, as próprias manchetes consultadas elevam a importância de se utilizar essas fontes a partir dos fatos relatados.

A título de exemplo, citam-se os reflexos das chuvas que chegaram a 145 mm no dia 13 de setembro de 2000 (DIÁRIO DO IGUAÇU, 2000), ou ainda ao episódio do dia 14 de julho de 2015 que informa: "Entre as 2 horas da madrugada, e às 9 horas da manhã de ontem, 14 foram registradas pela Epagri precipitação de 137,1 mm em Chapecó" (VOZ DO OESTE, 2015, p.4). Informações quanto à elevada intensidade das chuvas podem também ser encontradas, como no caso do último dia do mês de janeiro de 1992, quando o periódico apresentava no seu título: "Chuva-relâmpago alaga e assusta" evidenciando a natureza brusca da inundação que atingiu vários pontos da cidade (DIÁRIO DA MANHÃ, 1992). Ainda, o Jornal Voz do Oeste apresentou uma seção especial, intitulada "Alagamentos" (um erro conceitual para descrever o ocorrido) para abordar especificamente o episódio de primeiro de

abril de 2013. Assim abordava: "Foram 65 mm em pouco mais de 40 minutos. O suficiente para alagar diversos pontos da cidade (...) Teve até carro que ficou submerso" (PIVA, 2013, p.4).

Essas características das precipitações que envolvem as relações entre volume, intensidade e duração dos eventos de chuva são dependentes dos mecanismos que atuam na gênese das chuvas, enaltecendo a importância de estudos que abordem os sistemas atmosféricos atuantes. Nesse ínterim, busca-se no próximo item identificar esses sistemas atmosféricos atuantes nos episódios de inundações urbanas em Chapecó, com vistas a elaborar esquemas sinóticos simplificados do estado atmosférico.

Os sistemas atmosféricos atuantes e a síntese dos padrões sinóticos durante os episódios de inundações urbanas

Com base na análise e interpretação das cartas sinóticas foram encontrados três sistemas atmosféricos responsáveis por episódios de inundações urbanas em Chapecó: a) sistemas frontais; b) cavados – ou "calhas induzidas" na expressão usada por Monteiro CAF (1968) – e c) instabilidades convectivas. Desses, constatou-se que aproximadamente a metade (37 ocasiões) dos episódios estiveram associados a sistemas frontais, seguidos por cavados, com 24 episódios (31%) e por instabilidades convectivas, com 15 episódios (20%). No entanto, os sistemas frontais foram, ainda, subdivididos em: sistemas frontais frios, que representaram a maior parcela da classe, atuando em 24 episódios (65% da classe), sistemas frontais estacionários, em sete ocorrências (19% da classe) e sistemas frontais quentes, em seis momentos distintos (16% da classe).

As frentes frias são os principais sistemas produtores de chuva na porção meridional do Brasil (SARTORI, 2003) e estão normalmente associadas a chuvas duradouras e de intensidade leve a moderada, mas que eventualmente, podem apresentar intensidade moderada a alta, com potencialidade para produzirem impactos sobre a sociedade, como por exemplo, inundações (CATTO *et al.*, 2012). Em Chapecó, os sistemas frontais frios estiveram vinculados a episódios de inundações em qualquer estação do ano, apresentando maior percentual no inverno (33%), reduzindo na primavera (29%) e verão (25%) para atingir o menor número de episódios no outono (13%).

Para Ribeiro (2014) os sistemas frontais quentes tendem a produzirem menos chuvas quando comparados com seus opostos frios, embora, dependendo das condições atmosféricas,

possam ensejar convecção profunda na sua retaguarda, situação quando podem induzir chuvas intensas, sobretudo, na estação de verão. E foi exatamente nessa estação do ano que os sistemas frontais quentes foram mais frequentes, respondendo pela metade dos casos de inundações dessa classe. Nas demais, registrou-se apenas um episódio por estação.

Os sistemas frontais estacionários são correlatos à estagnação de um sistema frontal frio ou do recuo e estagnação de uma frente quente. São condizentes com chuvas contínuas que podem durar vários dias e assim, totalizar volumes pluviométricos significativos, induzindo inundações (SEVERO, 1994). Estes sistemas atmosféricos não contabilizaram episódios na estação mais quente do ano e se mostraram mais atuantes durante o inverno (57%). A primavera (29%) e o outono (14%) representam as estações com os demais episódios, com a ressalva de que foram numericamente baixos (dois e um episódios, respectivamente).

Os cavados por estarem associados a faixas alongadas de baixa pressão, ensejam a ascensão do ar, promovendo o desenvolvimento de nuvens de chuva. Estes sistemas atmosféricos podem ou não estarem associados a sistemas frontais frios e atuam canalizando calor e umidade da faixa tropical continental (SELUCHI; BEU; ANDRADE, 2017). No presente estudo, os cavados foram indutores de episódios de inundações, notadamente, na primavera (38%), reduzindo o percentual no outono (29%) e no inverno (25%), mas principalmente, no verão (8%).

Por fim, as instabilidades convectivas provocaram episódios com maior frequência no verão (60%) e secundariamente, na primavera e outono (20% cada). Sua prevalência na estação mais quente do ano é reflexo das condições de tempo associadas às chuvas no fim da tarde – chuvas de verão –, cuja característica é ser localizada, de alta intensidade e curta duração (SARTORI, 2003). Ribeiro (2018) também relata que o verão é a estação mais favorável ao desenvolvimento de Sistemas Convectivos de Mesoescala, decorrente sobretudo, do aquecimento diurno ou da intensificação das baixas pressões continentais, quando estas atuam no balizamento dos Jatos de Baixos Níveis, canalizando calor e umidade.

É importante salientar, que as informações apresentadas acima não representam a climatologia de ocorrência anual desses sistemas atmosféricos, uma vez que aqui, contabilizaram-se apenas aqueles responsáveis por inundações urbanas em Chapecó no período de 1990-2019. Esse aspecto já foi levantado por Escobar, Seluchi e Andrade (2016) que, a título de exemplo, ao estudarem o vale do rio Itajaí/SC, identificaram que nem todas as

frentes frias que atingiram a área foram responsáveis por chuvas extremas capazes de gerar desastres naturais (escorregamentos ou inundações), de tal modo, que a distribuição desses sistemas ao longo do ano, diferiu da climatologia de frentes frias para a região.

Monteiro MA (2001) já havia discutido que os sistemas atmosféricos atuantes em Santa Catarina podem sofrer diferenciações ao longo do ano. Segundo o autor, os sistemas frontais tendem a apresentar no estado, um deslocamento predominantemente oceânico no verão, ensejando a convecção tropical no continente, principalmente, devido às temperaturas altas e a umidade elevada. No inverno, por outro lado, as ondas polares apresentam um deslocamento continental ou próximo à costa potencializando a instabilização da atmosfera. Nas estações de transição, o outono, é caracterizado, conforme o autor, por bloqueios atmosféricos frequentes e a primavera, por instabilidades que proporcionam o desenvolvimento de tempestades convectivas.

Nota-se que as características supracitadas, apresentam vínculos próximos com a distribuição dos sistemas atmosféricos atuantes nos episódios de inundação urbana analisados. Eles exemplificam o porquê da redução dos sistemas frontais frios no verão e maior atuação no inverno (CARDOZO; REBOITA; GARCIA, 2015). Evidenciam, ainda, que condições de calor e umidade favorecem instabilidades convectivas, ou que, quando um sistema frontal frio desloca-se sobre o continente, pode ser barrado pelo ar quente continental, que pode então, avançar como um sistema frontal quente (RIBEIRO, 2014). Ou, que bloqueios atmosféricos no outono, possibilitam maior frequência de sistema frontais estacionários. E por fim, que os cavados apresentam-se como híbridos que se favorecem de sistemas frontais oceânicos e da própria instabilidade atmosférica sobre o continente.

Contudo, embora cada episódio de inundação seja induzido por uma dinâmica atmosférica distinta, constatou-se ao agrupá-los, que há similaridades, de tal modo que foi possível classificar o contexto sinótico em diferentes tipos. Deve-se enfatizar que para isso, houve a necessidade de se generalizar a informação, com a finalidade de se chegar a uma tipologia simplificada.

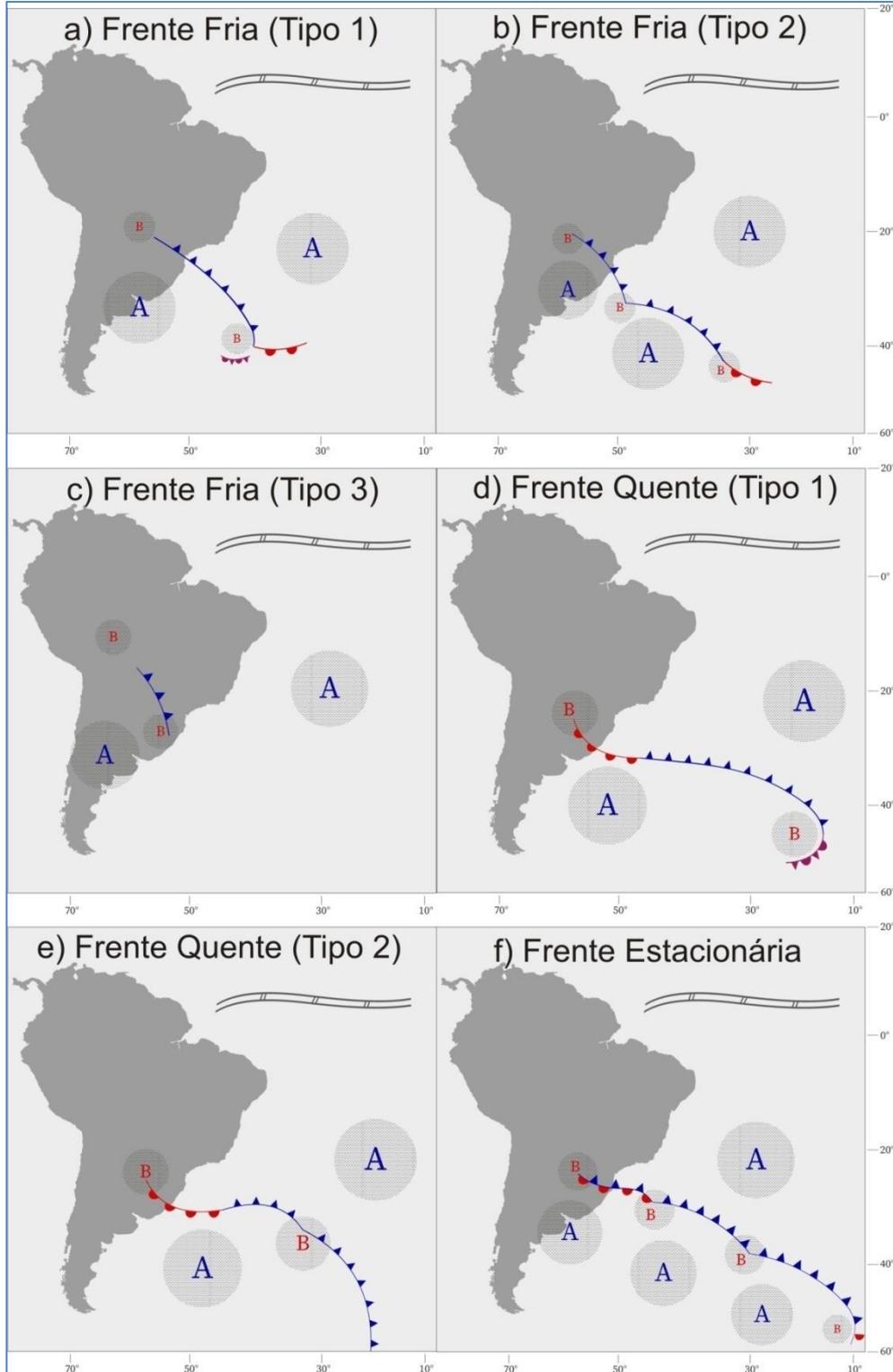
Iniciando essa análise a partir dos sistemas frontais frios, observou-se que os episódios de inundação apresentam um contexto sinótico que se enquadra em três tipos distintos. O primeiro (Tipo 1 - Figura 4a) e mais frequente, esteve sempre associado a um centro de baixa pressão sobre o oceano sob a forma de um ciclone extratropical (em oclusão ou não), do qual um ramo frio se estendia até a região sul do Brasil, balizado em direção a uma depressão

barométrica continental – baixa do Chaco ou baixa do noroeste argentino (GRIMM, 2009). O Tipo 2 (Figura 4b), embora similar ao primeiro, tem como diferencial o fato de estar ligado a um conjunto de sistemas frontais oceânicos – família de ciclones, conforme nomenclatura empregada por Vianello e Alves (2012). Por último, o Tipo 3 (Figura 4c), representa os sistemas frontais frios vinculados a centros de baixa pressão que entram em ciclogênese com o desenvolvimento de uma onda frontal sobre o continente e se deslocam, posteriormente para o oceano.

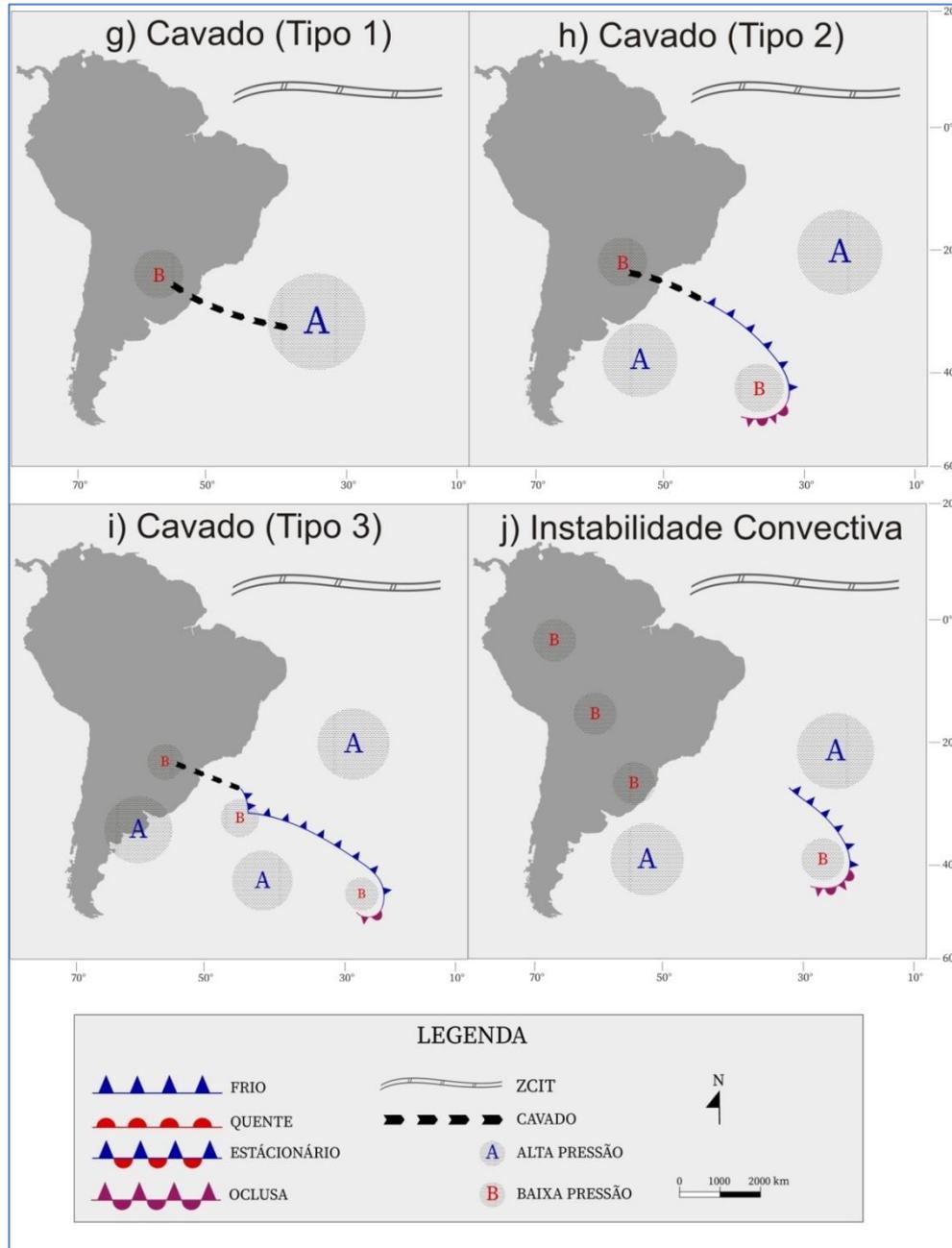
Ribeiro (2014) estudando as frentes quentes no sudeste da América do Sul notou que elas estavam normalmente associadas à ciclogênese ou ao recuo e ingresso do ar quente de sistemas estacionários e/ou frios. Essas características foram observadas e permitiram diferenciar dois tipos principais associados à episódios de inundação. Quando o ramo quente avança forçado por uma depressão barométrica continental – notadamente baixa do Chaco –, estando conectado com um sistema frontal frio e seu respectivo ciclone extratropical em alto mar (em oclusão ou não), define o Tipo 1 (Figura 4d). O Tipo 2 (Figura 6e), semelhante ao que ocorre para os sistemas frontais frios está relacionado à conexão a uma família de ciclones no Atlântico. Inclusive esse padrão é o único definidor dos sistemas frontais estacionários (Figura 4f) cuja interconexão pode estar associada com dois ou três sistemas frontais frios e suas depressões sobre o oceano.

Os cavados foram discriminados em três tipos principais. O primeiro deles (Tipo 1 - Figura 4g) corresponde ao canal depressionário que se estabelece entre uma baixa pressão continental em direção a um anticiclone polar alongado posicionado sobre o oceano e que, normalmente, já se encontrava tropicalizado. Já o Tipo 2 e 3 são muito similares: o que os diferenciam é que no Tipo 2 (Figura 4h) o cavado se estabelece como prolongamento de um sistema frontal frio sobre o oceano, enquanto no Tipo 3 (Figura 4i) o cavado está acoplado há mais de um sistema frontal interconectados sobre o oceano.

Figura 4 – Padrões simplificados da circulação associada aos sistemas atmosféricos desencadeadores de inundações urbanas.



Continua...



Org.: Autor (2020).

Por último, a classe instabilidade convectiva foi classificada em um único e complexo tipo (Figura 4j). Caracteriza-se pela presença de um ou mais centros de baixa pressão continental, que ensejam movimentos ascensionais do ar, induzindo chuvas sob a forma de pancadas no fim da tarde decorrente do aquecimento diurno. Esses centros de baixa pressão podem, também, proporcionar a advecção de ar quente e úmido da faixa tropical, proporcionando o desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala – a exemplo do apresentado por Borsato, Massoquim e Rodrigues (2019) para o oeste paranaense – ou de

linhas de instabilidade (RIBEIRO, 2018). A associação com cavados ou sistemas frontais sobre o oceano também está eventualmente presente (BORSATO; MASSOQUIM; RODRIGUES, 2019).

É importante mencionar, que a posição dos centros de alta pressão, tanto o anticiclone migratório polar (na retaguarda dos sistemas frontais) como do anticiclone subtropical do Atlântico Sul (posicionado sobre o oceano), em quaisquer das circunstâncias acima, apresentam variação na posição e deslocamento ao longo do ano. No inverno, a alta subtropical do Atlântico Sul encontra-se mais próxima do continente, forçando com que as ondas frontais e seus centros de alta se desloquem pelo interior continental. Diferente, no verão, quando esse sistema (alta subtropical do Atlântico Sul) localiza-se mais afastado da costa, permite que as altas polares se movimentem pelo litoral. Este comportamento atmosférico já foi apresentado por outros autores, tais como Grimm (2009).

Considerações finais

- Chapecó tem relatos de inundações urbanas, ao menos, desde a década de 1960. Contudo, houve um aumento no número de episódios ao longo dos anos, concomitante com: o crescimento populacional, a urbanização e a falta de infraestrutura – principalmente, no que tange à drenagem urbana (BINDA; BUFFON; FRITZEN, 2012; BINDA, 2015). Mas para além dos aspectos que envolvem as modificações impostas pela urbanização, a determinação dos sistemas atmosféricos e dos padrões sinóticos de circulação, careciam de serem estudados especificamente. E foi nesse viés que se desenvolveu este trabalho, com vistas a estabelecer uma análise dos sistemas atmosféricos atuantes em episódios de inundação urbana.
- As inundações urbanas apresentam uma tendência não linear de incremento e ocorreram em todos os meses e em qualquer estação do ano. Apresentam relações com o regime pluviométrico, mas os incrementos da urbanização imprimem uma dinâmica hidrológica distinta, que intensificam as crises hídricas no sistema fluvial. Em linhas gerais, constatou-se que foram três os principais sistemas atmosféricos atuantes nos casos de inundações urbanas em Chapecó – Sistemas frontais, Cavados e Instabilidades Convectivas – que se desdobram em 10 tipologias simplificadas de padrões sinóticos.

- Contudo, merece ser destacado que, ao se focar unicamente na circulação em superfície, informações sobre os componentes em baixa (850 hPa), média (500 hPa) e alta troposfera (250 hPa) foram desprezadas. Acredita-se, no entanto, que as informações aqui apresentadas podem servir de base para estudos futuros que se dirijam ao enfoque desses condicionantes em diferentes níveis da atmosfera. Os aspectos pluviométricos de episódios específicos para cada um dos sistemas atmosféricos identificados é, por exemplo, outra temática que merece destaque, uma vez que permeiam as interações entre o sistema urbano, a rede de drenagem e os aspectos de intensidade e duração dos eventos chuvosos.

Agradecimentos

O autor agradece aos discentes Pedro Henrique Razzia Lira e Lucas Bonett Prado pelo auxílio no levantamento das manchetes de jornais e na edição gráfica dos padrões simplificados dos sistemas atmosféricos, respectivamente.

Referências

- AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p.39-52.
- ANDRADE, A.R.; BALDO, M.C.; NERY, J.T. (1999) Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de Santa Catarina. *Acta Scientiarum*, v.21, n.4, p.923-928. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v21i0.3164>
- BACK, A.J. (2006) Relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas de Chapecó, estado de Santa Catarina. *Acta Sci. Agron.*, v.28, n.4, p.575-581, out./dez. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.931>
- BACK, A.J.; WILDNER, L.P.; GARCEZ, J.G. (2019) Análise de chuvas intensas visando ao dimensionamento de estruturas de conservação do solo em Chapecó, SC. *Agropecuária Catarinense*, v. 32, n.3, p.95-100, set./dez. <https://doi.org/10.22491/RAC.2019.v32n3.14>
- BEREZUK, A.G. *Análise das adversidades climáticas no oeste paulista e norte do Paraná*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Presidente Prudente: UNESP, 2007. 378 p.

- BINDA, A. L. Os rios urbanos de Chapecó: do esquecimento sob as lajes do concreto às recordações nos dias de chuva. In: NASCIMENTO, E.; BRANDT, M. (Org.). *Oeste de Santa Catarina: território, ambiente e paisagem*. Chapecó: Pedro & João Editores, 2015. p. 155-193.
- BINDA, A.L.; FRITZEN, M. (2013) Uso do solo urbano e alterações na rede de drenagem da bacia hidrográfica do Lajeado Passo dos Índios, Chapecó-SC. *Geografia Ensino & Pesquisa*, v. 17, n.2 p. 243-259, maio/ago. <https://doi.org/10.5902/223649948161>
- BINDA, A.L.; BUFFON, E.A.M.; FRITZEN, M. (2012) Análise espaço-temporal dos casos de inundações e alagamentos registrados na cidade de Chapecó-SC (1980-2010). *RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise*, v. 26, p.35-50. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v26i0.30040>
- BORSATO, V. *A dinâmica climática do Brasil e massas de ares*. Curitiba: CRV, 2016. 184 p.
- BORSATO, V.A.; MASSOQUIM, N.G.; RODRIGUES, D.U. (2019) Os complexos convectivos de mesoescala, as supercélulas e as tempestades no Paraná - Estudo de caso. *Geografia em Questão*, v.12, n.01, p.196-212.
- BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org). *Geomorfologia urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.
- BUFFON, E.A.M. *Inundações em áreas urbanas: proposição conceitual-metodológica e sua aplicação na RMC - Região Metropolitana de Curitiba*. 2020. 150 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- CARDOZO, A.B.; REBOITA, M.S.; GARCIA, S.R. (2015) Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o modo anular sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, Ano 11, v.17, p.9-26, jul./dez. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.40124>
- CATTO, J.L.; JAKOB, C.; BERRY, G.; NICHOLLS, N. (2012) Relating global precipitation to atmospheric fronts. *Geophysical Research Letters*, v.39, p.1-6. <https://doi.org/10.1029/2012GL051736>
- CHIN, A. (2006) Urban transformation of river landscape in a global context. *Geomorphology*, v. 79. p. 460-487. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.033>
- DIÁRIO DA MANHÃ. Chuva-relâmpago alaga e assusta. *Diário da Manhã*, Chapecó-SC, Ano XIII, n.78, 31 jan. 1992.
- DIÁRIO DO IGUAÇU. Alagamentos provocam prejuízos em Chapecó. *Diário do Iguaçu*. Chapecó-SC, Ano 4. n.911, 13 set. 2000.

ESCOBAR, G.C.J.; SELUCHI, M.E.; ANDRADE, K. (2016) Classificação sinótica de frentes frias e chuvas extremas no Leste de Santa Catarina (SC). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.31, n.4 (suppl.), p.649-661. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150156>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas de População (2020)*. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html> > Acesso em: 29 out. 2020.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais climatológicas do Brasil - 1981-2010*. Disponível em:< <https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 29 out. 2020.

FACCO, J.; FUJITA, C.; BERTO, J.L. (2014) Agroindustrialização e urbanização de Chapecó-SC (1950 – 2010): uma visão sobre os impactos e conflitos urbanos e ambientais. *REDES - Rev. Des. Regional*. Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 1, p. 187 - 215, jan/abr. <http://dx.doi.org/10.17058/redes.v19i1.2481>

GRIMM, A.M. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.259-275.

LEOPOLD, L. B. (1991) Lag times for small drainage basins. *Catena*, v. 18. p.157-171. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(91\)90014-O](https://doi.org/10.1016/0341-8162(91)90014-O)

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco: Freeman and Co., 1964. 522 p.

MARCELINO, E.V. *Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos*. Santa Maria: CRS/INPE, 2008. 38 p.

MENDONÇA, F.A.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MONTEIRO, C.A.F. Clima. In: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil: Grande região sul*. v.IV, Série A, n.18, Rio de Janeiro: IBGE, 1968. p.114-166.

MONTEIRO, M.A. (2001) Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. *Geosul*, Florianópolis, v.16, n.31, p.69-78, jan./jun.

- MINUZZI, R.B. (2010) Chuvas em Santa Catarina durante eventos do El Niño Oscilação Sul. *Geosul*, Florianópolis, v.25, n.50, p.107-127, jul./dez. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2010v26n50p107>
- NARDY, A.J.R. *Geologia e petrologia do vulcanismo mesozóico da Região Central da Bacia do Paraná*. 1996. 316 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.
- NASCIMENTO, E. Chapecó: evolução urbana e desigualdades socioespaciais. In: NASCIMENTO, E.; BRANDT, M. (Org.). *Oeste de Santa Catarina: território, ambiente e paisagem*. Chapecó: Pedro & João Editores, 2015. p.97-153.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE/Depto. de Recursos Naturais e Estudos ambientais, 1989. 421p.
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations, 2019. 103p.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JR, V.P.; MASSIGNAM, A.M., PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V. *Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.
- PIVA, D. Hora de contabilizar os prejuízos em Chapecó. *Voz do Oeste*, Chapeco-SC, especial alagamentos, p.4, 3 abr. 2013.
- RIBEIRO, B.Z. *Climatologia sinótica das frentes quentes no sudeste da América do Sul*. 2014. 137 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.
- RIBEIRO, B.Z. *Linhas de instabilidade no sul do Brasil*. 2018. 255 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.
- SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. São Paulo: Hucitec, 1993. 157 p.
- SARTORI, M.G.B. (2003) A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. *Terra Livre*, São Paulo, Ano 19, v.I, n.20, p.27-49, jan./jul.
- SELUCHI, M.; BEU, C.; ANDRADE, K.M. (2017) Características das frentes frias causadoras de chuvas intensas no leste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.32, n.1, p.25-37. <https://doi.org/10.1590/0102-778632120150095>

SEVERO, D.L. *Estudo de casos de chuvas intensas no estado de Santa Catarina*. 1994. 118 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, C. (Orgs.). *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

VIANELLO, R.L.V.; ALVES, A.R. *Meteorologia básica e aplicações*. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. 460p.

VOZ DO OESTE. Prefeitura de Chapecó decreta situação de emergência. *Voz do Oeste*, Chapecó-SC. 15 jul. 2015.

WOLMAN, M. G. (1967) A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geog. Annaler*, v. 49A. p. 385-395. <https://doi.org/10.2307/520904>