

EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO DE ITACOATIARA – AMAZONAS.

Beatriz da Silva Lima ¹
Larissa Kristyne Campos dos Santos ²
Natacha Cíntia Regina Aleixo ³

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das cidades brasileiras, conforme descrito por Sposito (1998), segue o modelo de desenvolvimento capitalista, caracterizado por desigualdades, que gera impactos variados, especialmente de origem climática, como os eventos extremos.

Os impactos dos fenômenos climáticos ocorrem de maneira desigual no território, pois o espaço urbano é produzido e apropriado conforme os interesses específicos dos diferentes atores sociais (Sant’Anna Neto, 2008). Desse modo, os efeitos dos extremos climáticos serão mais devastadores para as populações vulneráveis das cidades. Corroborando com o argumento de Fante (2019, p. 42) “[...]. Para cada grupo é oferecida maior ou menor possibilidade de serem produzidas situações críticas e calamitosas oriundas dos eventos climáticos extremos de acordo com o grau de vulnerabilidade em que se inserem.”

Os autores Molloy, Dreelin e Rose (2008, p. 537) caracterizam o evento extremo como “um estado de tempo com uma intensidade incomum num determinado local.”. Para Stephenson (2008, p. 13) os extremos climáticos “são eventos em que determinadas variáveis meteorológicas excedem os limiares pré-existentes.”

Neste contexto, os extremos climáticos referem-se à ocorrência de um fenômeno em condições não-habituais, manifestando-se acima do padrão normalmente observado. Em termos estatísticos, podem ser identificados como valores acima ou abaixo dos limiares estabelecidos. As ondas de calor são um dos indicadores de extremos climáticos mais frequentes (Meehl e Teobaldi, 2004; Moura, 2013; Fante, 2019; Lima e Aleixo, 2024), assim como as ondas de frio (Fante e Armond, 2016; Silveira et al., 2018).

Segundo Fante (2019) o contexto socioespacial da localidade deve ser levado em consideração nas análises, para ser possível reconhecer e categorizar um evento extremo. Neste sentido, as cidades de Manaus e Belém têm sua sazonalidade definida pelo período chuvoso, e Itacoatiara não foge dessa

¹ Mestranda do Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas - UFAM; beatriz.lima@ufam.edu.br;

² Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas- UFAM, kristyne.campos@ufam.edu.br;

³ Doutora em Geografia. Docente do Departamento de Geografia (DEGEOG) e do Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas - UFAM; natachaaleixo@ufam.edu.br.

característica climática, onde a precipitação é um elemento climático fundamental que determina a sazonalidade da cidade.

A cidade de Itacoatiara, localizada na região metropolitana de Manaus, no estado do Amazonas (Amazônia Central), possui um clima equatorial (quente e úmido), devido à sua proximidade com o equador térmico, recebe forte incidência de insolação ao longo do ano, independente da estação do ano.

Com base em uma revisão sistemática, constatou-se que os estudos de extremos térmicos são escassos, ainda existem diversas lacunas que necessitam ser preenchidas, principalmente voltadas para o interior e a capital do Amazonas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar os eventos extremos de temperatura do ar em Itacoatiara no período de 2006 a 2020.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo parte das concepções teóricas-metodológicas da abordagem da Climatologia Geográfica na perspectiva dos anos-padrão (Monteiro, 1973), em conjunto com a aplicação de técnicas estatísticas para a análise de eventos extremos.

Para identificação dos eventos extremos e anos-padrão de temperatura, foram coletados dados secundários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio do Banco de Dados Meteorológico (BDMEP) que disponibiliza dados da estação convencional de Itacoatiara em escala mensal e diária, onde o período de análise correspondeu de 2006 a 2020. Ressalta-se que, os dados obtidos estiveram com um total de 193 dias com falhas, o que não compromete a análise e validade dos resultados, tendo em vista que ela é considerada significativa para um conjunto de dados de até 30% de falhas (Armond, 2015).

A análise das temperaturas dividiu-se em dois momentos: a técnica dos percentis, baseado no aporte técnico-metodológico do estudo de Silvestre, Sant'Anna Neto e Flores (2013), que diz respeito sobre a classificação dos anos-padrão e suas tendências habituais e extremas.

A avaliação e a identificação dos anos se deu pela classificação em padrões habituais e extremos, por meio do uso dos percentis P15, P35, P65 e P85, definidos em cinco classes com os seguintes valores para a temperatura máxima (Tabela 1) e mínima do ar (Tabela 2), os anos amenos (A) sendo representados pelos valores de 15%, os tendentes a ameno (TA) entre 15% e 35%, os anos habituais (H) de 35% a 65%, os tendentes a quente (TQ) com 65% a 85% e os anos quentes (Q) com valores acima de 85%.

Tabela 1: Representação da divisão de anos-padrão para a variável temperatura máxima do ar.

Cores	Percentis	Classes	Classificação
	$\leq 15\%$	$\leq 31,7$	Ameno
	$15\% > 35\%$	31,8 – 32,0	Tendente a ameno
	$35\% > 65\%$	32,1 – 32,3	Habitual

	65% > 85%	32,4 – 32,8	Tendente a quente Quente
	≥ 85%	≥ 32,9	

Fonte: Silvestre, Sant’Anna Neto e Flores (2013). Org.: A autoria (2024).

Tabela 2: Representação da divisão de anos-padrão para a variável temperatura mínima do ar.

Cores	Percentis	Classes	Classificação
	≤ 15%	≤ 23,5	Ameno
	15% > 35%	23,6 – 23,7	Tendente a ameno
	35% > 65%	23,8 – 24,4	Habitual
	65% > 85%	24,5 – 24,7	Tendente a quente
	≥ 85%	≥ 24,8	Quente

Fonte: Silvestre, Sant’Anna Neto e Flores (2013). Org.: A autoria (2024).

No segundo momento aplicou-se a técnica estatística de agrupamento por posição (percentis) (Moura, 2013; Fante, 2019; Lima e Aleixo, 2024). Os dados diários das temperaturas nos últimos 15 anos (2006-2020) foram classificados conforme o percentil 90, para a máxima ficou estabelecido o valor de 34,8 °C e para a mínima 25,5 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Oceano Pacífico se destaca por ser aquele que recobre a maior área do planeta, desempenhando um papel fundamental na regulação climática global. As Anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM), como o fenômeno acoplado (atmosférico-oceânico) denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS) influencia significativamente a variabilidade climática, o que afeta o transporte de umidade, temperatura e precipitação em todo o globo e, em especial, na região Amazônica. Em condição de La Niña vai haver um fortalecimento da célula de Walker, isso vai fazer que nas regiões nordeste e norte do Brasil haja um aumento da precipitação. De modo contrário, o padrão climatológico que foi reforçado na La Niña será revertido, de forma que a célula sofra mudança na sua circulação e um enfraquecimento, fazendo com que tenha anomalias negativas e, conseqüentemente um déficit pluviométrico nessas regiões. (Limberger e Silva, 2016).

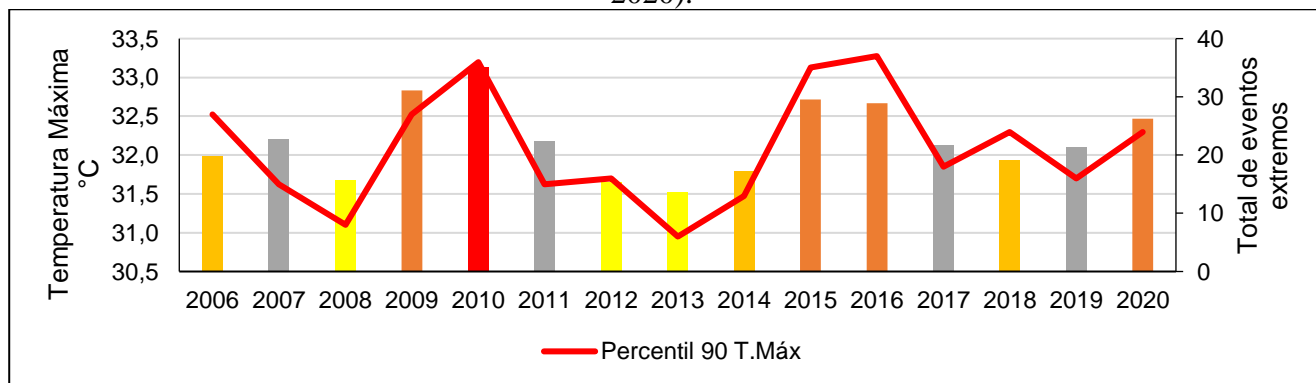
Na região Amazônica, existe uma intensa convecção advinda da atuação de sistemas de escala sinótica, como a ZCIT, ZCAS e as circulações de Hadley e Walker, além dos sistemas atmosféricos de mesoescala, como a Alta da Bolívia, sistemas frontais, também conhecidos como “friagens”, linhas de instabilidade e complexos convectivos, que desempenham um papel fundamental na variabilidade interanual da precipitação pluvial da região (Obregón, 2013).

O aquecimento da superfície terrestre não ocorre de maneira similar entre os polos e o equador. Isso acontece devido ao eixo de inclinação da terra, o que resulta na incidência de raios solares quase perpendiculares sobre a região tropical, independente da estação do ano, enquanto em áreas mais próximas dos polos, a incidência é oblíqua (Reboita, et al. 2012). Desse modo, as cidades situadas na faixa tropical recebem maior incidência de energia solar, sobretudo as da região

Amazônica, próximas à linha do Equador, como Itacoatiara e, em consequência disso o tipo climático é caracterizado como equatorial (quente e úmido), na qual terá médias mensais de temperaturas elevadas durante todo o ano, com baixa amplitude térmica. A cidade de Itacoatiara possui temperatura média de 28,5 °C, umidade relativa de 86,6% e pluviosidade anual de 2.543,3mm, segundo as normais climatológicas de 1991-2020 (INMET, 2024).

Na Figura 1, verificou-se que o ano de 2010 obteve a média da temperatura máxima mais alta do período analisado, com um valor registrado superior a 32,9 °C. Este ano foi marcado por uma seca severa na região amazônica, devido à grave escassez de chuvas. O processo de rebaixamento dos cursos d'água da bacia amazônica iniciou-se no verão austral durante o ENOS na fase quente e, em seguida, foi intensificado pelo aquecimento das águas tropicais do Atlântico Norte (Marengo et al., 2011). Nota-se que houve uma queda dos extremos de temperatura máxima em 2011, fato este que pode ter sido influenciado devido à atuação da La Niña, sendo classificada como “moderada” neste ano.

Figura (1): Anos-padrão e eventos extremos de temperatura máxima do ar em Itacoatiara (2006-2020).



Fonte: INMET (2024). Org.: a autoria.

Durante o mês de julho de 2009 a março de 2010 tivemos um acumulado de 32 eventos extremos diários de temperatura máxima (Figura 1) e um total de 51 anomalias extremas de temperatura mínima em dois anos, 2014 e 2015 (Figura 2), período em que a ocorrência do ENOS foi mais intensa.

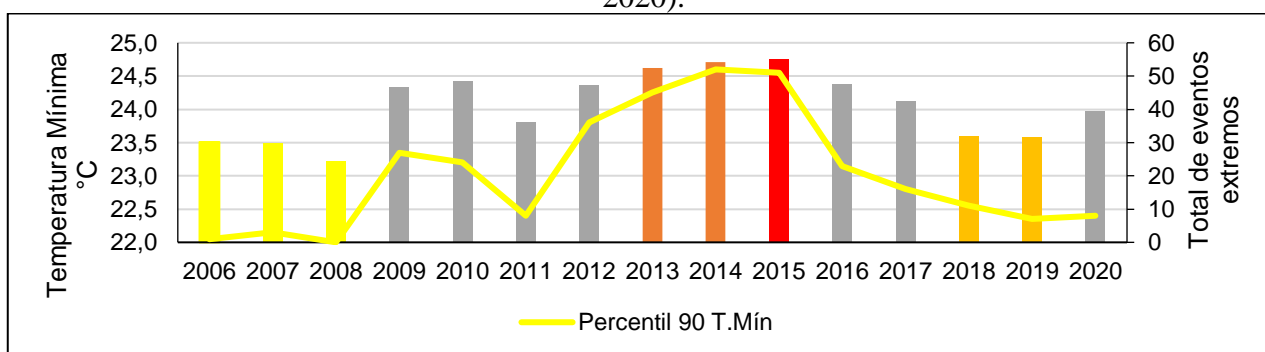
Apesar da atuação da La Niña classificada como moderada no ano de 2010, entre os meses de junho a dezembro, os eventos não diminuíram, em vez disso, acumularam um total de 31 eventos diários de temperatura máxima. Isso ocorreu, pois no início de 2010, entre os meses de janeiro e abril, houve a influência do ENOS (fase quente atuando de forma moderada) combinada com o aquecimento das águas tropicais do Atlântico Norte, o que resultou em um período seco que se estendeu por diversos meses, sendo que, agosto, setembro e outubro foram os mais críticos, das quais

se registraram os menores totais pluviométricos (50,8 mm, 29,1 mm e 43,2 mm) e médias de temperatura máxima elevadas (34,4 °C, 35 °C e 34,2 °C).

Os anos de 2008, 2012 e 2013 foram classificados como “ameno”, com registros médios de temperaturas máximas abaixo ou igual a 31,7 °C (Figura 1). As condições atmosféricas propiciadas pela atuação do ENOS na fase fria e moderada na região, especialmente em 2008, pode ter influenciado na diminuição da ocorrência de extremos de temperatura máxima, uma vez que foram acumulados 8, 16 e 6 eventos diários nesses 3 anos (Figura 1). No ano de 2008, a temperatura máxima também foi amena, o que pode ser explicado pela intensa nebulosidade e a maior frequência de eventos pluviais, corroborando com o resultado de Andrade (2023), que classificou 2008 como um ano padrão chuvoso, apresentando valores acima de 2941,1 mm.

Em relação à temperatura mínima do ar, esta variável não registrou valores extremos em 2008. Por outro lado, nos anos de 2012 e 2013 foram observados totais de 36 e 45 extremos diários acumulados, de modo respectivo (Figura 2). No ano de 2012, os meses de setembro e outubro registraram os menores valores mensais de precipitação, com 49mm e 20,6, respectivamente. Os referidos meses obtiveram as médias mensais de temperatura mínima do ar mais elevadas durante o ano, com 24,6 °C e 25,5 °C, o que pode ter contribuído para o aumento dos extremos, dado que estes somaram 11 eventos diários em cada mês. Os anos considerados como “tendentes a ameno” foram verificados em 2006, 2014 e 2018 (entre 31,8 e 32,0 °C). Destaca-se que, 2018 também foi considerado ano de ENOS (fase fria) com intensidade moderada, ver Figura 1 (CPTEC-INPE, 2018).

Figura (2): Anos-padrão e eventos extremos de temperatura mínima do ar em Itacoatiara (2006-2020).



Fonte: INMET (2024). Org.: a autoria.

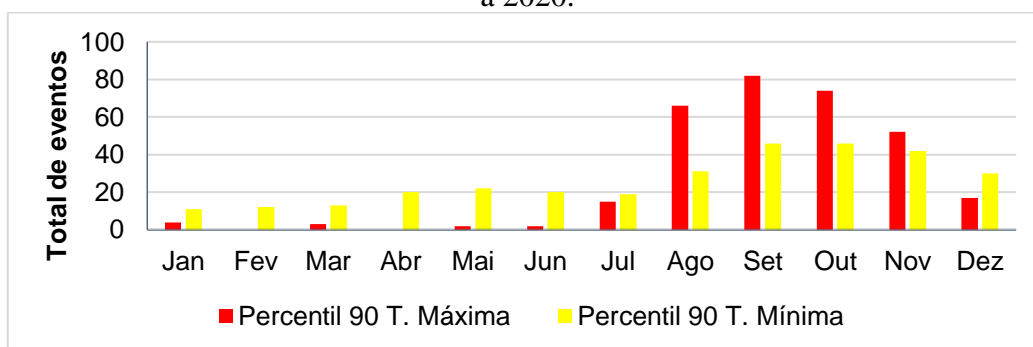
A partir do ano de 2015, constatou-se uma maior frequência de anos “tendentes a quente”, nos quais foi registrado uma média de temperatura máxima do ar entre 32,4 e 32,8 °C. Os anos habituais foram observados em 2007, 2011, 2017 e 2019 no recorte temporal analisado, com valores entre 32,1 e 32,3 °C. Juntamente com os anos considerados tendentes a ameno, os habituais foram aqueles que registraram uma tendência de diminuição de ocorrência de eventos extremos tanto de temperatura máxima quanto de temperatura mínima. (Figura 1 e 2).

Conforme a Figura 2, houve um predomínio de temperatura mínima do ar considerada habitual, com variação entre 23,8 a 24,4 °C. Isso significa que nesses anos, o valor médio não mostrou um comportamento anormal em relação ao esperado. Os anos caracterizados como “amenos” foram observados no início da série, entre 2006 e 2008, com temperaturas mínimas médias inferiores ou iguais a 23,5 °C. Além disso, os anos de 2018 e 2019 foram identificados como “tendentes a ameno”, com registros médios de temperatura mínima entre 23,6 e 23,7 °C (Figura 2). Por outro lado, 2015 foi o único ano que apresentou uma característica térmica de ano “quente”, com uma média de temperatura mínima superior ou igual a 24,8 °C. Neste ano, ocorreu a atuação da anomalia positiva do ENOS na fase quente e com forte intensidade.

Concomitantemente, Andrade (2023) aponta esse ano como tendente a seco para as chuvas, ressalta-se que, este também foi o ano que teve o maior número de anomalias térmicas de temperatura mínima, com um total acumulado diário de 51 eventos extremos. Também observou-se que, durante todos os meses de 2015 ocorreu pelo menos um evento extremo diário, sendo que dezembro foi o mês que apresentou maior número total acumulado de eventos diários, com 12. Este também foi o mês em que as anomalias de TSM do Pacífico atingiram um pico de 2,6 °C de aquecimento, o que pode ter influenciado no aumento dos eventos extremos de temperatura.

Por fim, os anos de 2013 e 2014 foram classificados como “tendentes a quente”, com temperaturas mínimas do ar variando entre 24,5 e 24,7 °C. Em suma, observa-se que os anos tendentes a quente e quentes são aqueles que mais registraram eventos extremos de temperatura mínima, dentre eles 2014 foi o ano que apresentou maior número de extremos, com 52 no total, exceto por fevereiro todos os outros meses desse ano apresentarem eventos extremos. A Figura 3 representa os eventos extremos mensais do percentil 90 de temperatura máxima e mínima. Como é possível notar, os meses que possuem maiores eventos extremos de máximas e mínimas são aqueles que abrangem “período seco” da cidade, equivalente entre os meses de junho a novembro.

Figura (3): Total acumulado mensal de eventos extremos de temperatura máxima e mínima de 2006 a 2020.



Fonte: INMET (2024). Org.: a autoria.

Alguns fatores devem ser apontados para explicar a maior ocorrência desses eventos durante esse período: i) são nesses meses em que cidades da Amazônia Central, tal como Itacoatiara, recebem maior incidência de radiação solar direta, ii) a média mensal de precipitação diminui consideravelmente em relação ao período chuvoso e iii) não há atuação de sistemas atmosféricos precipitantes de grande escala e sinótica, apenas de mesoescala e convectivos locais. Em consequência disso, as médias mensais de temperatura máxima e mínima são mais elevadas, o que explica a maior quantidade de eventos entre junho-novembro em comparação aos meses de dezembro a maio.

Em estudo realizado por Lima e Aleixo (2024) a respeito dos eventos diários de temperatura do ar em Manaus de 2016 a 2020, cidade também localizada na Amazônia Central como Itacoatiara, as autoras empregaram os percentis 85, 90 e 95 para identificar os extremos de temperatura máxima e mínima. Dessa forma, evidenciaram que, os maiores eventos extremos de temperatura do ar acontecem no período “seco”, com um total de 236 ocorrência de temperatura máxima e 204 de temperatura mínima. A mesma sazonalidade foi percebida em Itacoatiara, onde a temperatura máxima registrou 290 extremos térmicos e a temperatura mínima 212 eventos nesse período.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os eventos extremos térmicos podem apresentar características diferentes nas regiões brasileiras, dependendo da posição geográfica e fatores meteorológicos da área de interesse, o que influencia em tipos de clima e tempo distintos em um único continente.

Os resultados obtidos para a cidade de Itacoatiara mostram que os meses denominados popularmente como “verão amazônico”, a sazonalidade menos chuvosa e/ou seca, são aqueles que apresentaram maior acumulado total diário de eventos extremos e, em alguns casos, notou-se que o ENOS (fase quente), contribuiu para o aumento de eventos extremos. Além disso, observou-se que os anos caracterizados como habituais e amenos apresentam os menores valores de episódios extremos.

Foi constatado que a oscilação do ENOS na fase quente influenciou na ocorrência de eventos extremos, sobretudo nos anos de 2010 e 2015, onde, de acordo com os anos-padrão foram considerados “quente.” No entanto, existem outros fatores atmosféricos que podem estar associados à frequência de eventos, como a TSM do oceano Atlântico Tropical Norte.

Palavras-chave: Eventos Extremos; ENOS, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Itacoatiara.

AGRADECIMENTOS

À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de Bolsa de

Mestrado e Doutorado. À FAPESP pelo financiamento de projeto no (Edital: 013/2022) Produtividade CT&I. À FAPESP pelo financiamento do projeto de pesquisa do programa PROMOB (edital 015/2023).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. S. **Eventos extremos de precipitação pluvial na cidade de Itacoatiara-AM**. 2023. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

ARMOND, N.B. **Entre eventos e episódios: as excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **El Niño e La niña**. 2018. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/> Acesso em: 25 jun. 2024.

FANTE, K. P. **Eventos Extremos de Temperatura e seus impactos no conforto térmico humano: estudo de caso em Presidente Prudente, Brasil, na perspectiva da geografia do clima**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista —Júlio de Mesquita Filho, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente–SP, 2019.

LIMA, B.S; ALEIXO, N.C.R. Extremos térmicos e vulnerabilidade social na morbidade cardiorrespiratória em Manaus-AM. **Estrabão**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 155–169, 2024. DOI: 10.53455/re.v5i1.227. Disponível em: <https://revista.estrabao.press/index.php/estrabao/article/view/227>. Acesso em: 19 jul. 2024.

LIMBERGER, L; SILVA, M. E. S.. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, Brasil, v. 20, n. 3, p. 657–675, 2016. DOI: [10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.105393](https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.105393). Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/105393>. Acesso em: 18 jul. 2024.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, vol, 12, p. 853-863. 1992. <https://doi.org/10.1002/joc.3370120808>.

MARENGO, J. A et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, p. 1-5, 2011.

MONTEIRO, C. A. F. A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: IGEOG, 1973.

MOLLOY, S.; DREELIN, E.; ROSE, J. Extreme weather events and human health. **International encyclopedia of public health**. Academic Press. p. 53-544, 2008.

OBREGON, G. O. O clima da Amazônia: principais características. In: Secas na Amazônia: causas e consequências. BORMA, L.S.; NOBRE, C. (Orgs.). São Paulo: Oficina de Textos, p.56-76, 2013.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **TERRÆ DIDÁTICA** 8(1):34-50, 2012.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, p. 1-18, 2008.

SILVESTRE, M. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FLORES, E. F. Critérios estatísticos para definir anos-padrão: uma contribuição à climatologia geográfica. **Revista Formação**, v. 2, n. 20, p. 23-53, 2014.

STEPHENSON, D. B. Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. In: DIAZ, H. F.; MURNANE, R. J.(Org). **Climate extremes and society**. United States of America: Cambridge University Press, p.11 – 23, 2008.