

ASPECTOS CLIMÁTICOS E ATMOSFÉRICOS NO ABC PAULISTA NO ANO DE 2020 E SEUS EXTREMOS

Débora Freitas Ferreira Santos; María Cleofé Valverde²; Andréa de Oliveira Cardoso³; Ana Carolina Simões Carvalhães⁴; Aline Sant'Ana de Souza⁵

Autor para correspondência: debora.freitas@aluno.ufabc.edu.br

¹Graduada na Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo; ² Professora na Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo; ³ Professora na Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo; ⁴ Graduanda na Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo; ⁵ Mestranda na Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar os aspectos climáticos e atmosféricos em quatro municípios do ABC Paulista (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Ribeirão Pires) e classificar os eventos de chuva entre extremamente seco a extremamente chuvoso utilizando o método dos quantis. Para isso, utilizou-se dados de temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, irradiação e velocidade do vento de quatro estações meteorológicas automáticas, cada uma localizada em cada um dos municípios de estudo (duas pertencentes à UFABC, uma do Semasa e uma da CETESB). Quanto as temperaturas, as médias se mantiveram ligeiramente abaixo da média entre os meses de janeiro a abril, aumentando a partir de maio e se destacando entre junho e setembro com as maiores diferenças acima da média, principalmente para o mês de setembro. Condições extremas relacionadas a precipitação foram identificadas em fevereiro (extremamente chuvoso) e março (extremamente seco), que influenciaram a quantidade de irradiação registrada nestes meses devido à presença ou não de nebulosidade. A presença de um ciclone bomba somada a chegada de uma forte frente fria fez com que o mês de junho (inverno seco no Sudeste) fosse considerado de muito chuvoso a extremamente chuvoso nos municípios analisados. Em síntese, os sistemas que mais influenciaram as condições climáticas no ABC Paulista foram a chegada de frentes frias, zona de convergência do atlântico sul, massas de ar seco e frio e a formação de ciclone bomba. Concluiu-se que os objetivos do trabalho foram atingidos com sugestão de continuidade das pesquisas.

PALAVRAS-CHAVE: ABC Paulista; Climatologia; Eventos extremos.

CLIMATIC AND ATMOSPHERIC ASPECTS IN ABC PAULISTA IN 2020 AND ITS EXTREMES

ABSTRACT

This work aimed to analyze the climatic and atmospheric aspects in four municipalities of ABC Paulista (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul and Ribeirão Pires), as well as to classify the rainfall events between extremely dry to extremely rainy from the quantile method. For this, data of air temperature, relative humidity, precipitation, irradiation and wind speed from four automatic weather stations were used, each one located in each of the study cities (two belonging to UFABC, one from Semasa and one from CETESB). As for temperatures, the averages were slightly below average from January to April, increasing from May on and standing out between June and September with the largest above average differences, especially for the month of September. Extreme conditions related to precipitation were identified in February (extremely rainy) and March (extremely dry), which influenced the amount of irradiance recorded in these months due to the presence or absence of cloudiness. The presence of a bomb cyclone added to the arrival of a strong cold front caused the month of June (dry winter in the Southeast) to be considered from very rainy to extremely rainy in the analyzed municipalities. In summary, the systems that most influenced the climatic conditions in the ABC Paulista were the arrival of cold fronts, south Atlantic convergence zone, dry and cold air masses and the formation of a bomb cyclone. It was concluded that the objectives of the work were achieved with a suggestion for further research.

KEY-WORDS: ABC Paulista; Climatology; Extreme events.

INTRODUÇÃO / INTRODUCTION

O clima em determinadas áreas urbanas pode apresentar diferenças locais significativas influenciadas por características do meio físico e forma de uso e ocupação do solo (FIALHO et al., 2021). Tal comportamento é observado na região do ABC Paulista, a qual apresenta diferenças nas variáveis meteorológicas em termos de suas intensidades, inclusive ocorrendo o fenômeno de ilha de calor, conforme demonstrado através do estudo de clima urbano de Valverde et al. (2020). Foram destacados os municípios de Diadema, São Caetano do Sul, e norte de São Bernardo do Campo e Santo André por apresentarem maiores intensidades de ilha de calor. No caso de Diadema os ventos são menos intensos no verão, dificultando a ventilação, e contribuindo para as altas temperaturas. Observou-se também maiores acumulados de precipitação diária, inclusive associadas à eventos extremos, para as áreas mais aquecidas.

Diferenças de temperatura no município de São Bernardo do Campo estão associadas às condições de cobertura de superfície, sendo que a área com pouca urbanização e grande densidade de vegetação apresenta temperaturas mais amenas durante todo o dia em comparação a faixa densamente ocupada e urbanizada no centro da cidade, de modo que a variabilidade de temperatura encontrada permitiu identificar a ocorrência de uma ilha de calor urbana de intensidade média (SIMEAO et al., 2019).

Duarte e Cardoso (2019) realizaram uma análise comparativa entre cinco estações meteorológicas no município de Santo André, observando diferenças que são ressaltadas principalmente quando se compara o ciclo diurno das variáveis meteorológicas. A região mais adensada (faixa norte, Estação de Camilópolis) é a mais quente e com menor umidade, sendo estas diferenças maiores durante a tarde. De modo geral, os ventos mais frequentes são de nordeste e sudeste, sendo verificada a mudança na direção de noroeste para de sudeste no meio da tarde, iniciando primeiro nas estações mais próximas ao litoral. Os autores também notaram que neste período os ventos atingem as maiores intensidades, podendo contribuir para queda de temperatura e aumento da umidade, potencializando as diferenças no ciclo diurno, sugerindo que tais diferenças possam estar associadas a cobertura da superfície e a entrada da brisa.

Apesar de apresentar o mesmo regime sazonal de precipitação e sofrer influências de sistemas atmosféricos típicos da região, há diferenças significativas nas amplitudes dessa variável ao longo dos municípios, inclusive dentro de um mesmo município (CARDOSO e VALVERDE, 2020; VALVERDE et al., 2020). Estas diferenças são destacadas através de análises de padrões climáticos, variabilidade e extremos de precipitação, indicando características próprias da chuva diária devido a topografia local e ao uso e ocupação do solo.

Em longo prazo são observadas tendências opostas na precipitação anual e diária, principalmente nos municípios de São Caetano do Sul, Diadema e São Bernardo do Campo, com redução nas precipitações anuais e aumento nas precipitações diárias, que no período chuvoso tem se tornado mais intensas e concentradas, contribuindo ainda mais para a ocorrência de eventos hidrológicos e geodinâmicos que afetam a região (VALVERDE et al., 2018).

A combinação do período chuvoso, com precipitações diárias intensas e acumulados elevados em dias anteriores possuem uma forte relação com a ocorrência de episódios de deslizamentos. Esta relação varia de acordo com o local, o que é demonstrado através do estudo para São Bernardo do Campo (MOLINA et al., 2015) e Mauá (DAMASCENO et al., 2021).

De modo geral, os estudos climáticos para o ABC Paulista evidenciam as peculiaridades de clima local ao longo da região, sendo de grande importância o monitoramento contínuo e atualizado das condições atmosféricas e climáticas na região, caracterizando cada ano de acordo a média climatológica.

OBJETIVOS DO TRABALHO / OBJECTIVES

Este trabalho tem como objetivo apresentar as condições meteorológicas, climáticas e os sistemas atmosféricos ocorridos no ano de 2020 em quatro municípios da região do ABC Paulista: Santo André, São Bernardo do Campo, Ribeirão Pires e São Caetano do Sul, assim como classificar os eventos de chuva entre extremamente seco e extremamente chuvoso.

Tal acompanhamento pode servir de instrumento para consolidar conhecimentos prévios estabelecidos por estudos climatológicos, detectar influências distintas dos sistemas atmosféricos atuantes, ressaltar diferenças na região, complementar o registro histórico, divulgar os dados observados e contribuir para medidas de prevenção de impactos do clima.

MATERIAIS E MÉTODOS / MATERIALS AND METHODS

A área de estudo compreende a região do ABC paulista (Figura 1), localizada no estado de São Paulo, na faixa sudeste da Região Metropolitana de São Paulo, sendo composta por sete municípios: Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra (CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL GRANDE ABC, 2021). De acordo com o IBGE (2020) essa região do ABC, possui 828 km² de extensão territorial, e mais de 2,8 milhões de habitantes.

Para o estudo se utilizaram informações de quatro estações meteorológicas automáticas (EMA) distribuídas nos municípios do ABC Paulista como mostra a Figura 1. As localizações das EMAs que forneceram os dados para o estudo do período de 2020 estão indicadas no Quadro 1, com suas coordenadas e respectivas fontes. As variáveis atmosféricas analisadas foram a temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, irradiação solar e velocidade de vento.

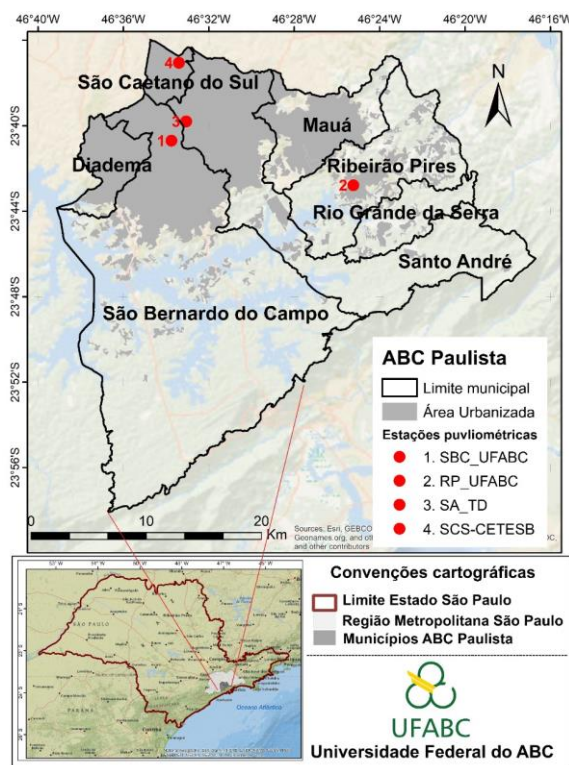


Figura 1: Localização da região do ABC Paulista e das estações meteorológicas utilizadas no estudo.

Quadro 1: Características das Estações Meteorológicas Automáticas.

Dado	Santo André	São Bernardo do Campo	São Caetano do Sul	Ribeirão Pires
Código	SA_TD	SBC_UFABC	SÃO CAETANO DO SUL	RP_UFABC
Latitude (Graus)	-23,663	-23,678	-23,617	-23,713
Longitude (Graus)	-46,551	-46,563	-46,556	-46,420
Altitude (m)	771	772	740	753
Fonte	SEMASA	UFABC	CETESB	UFABC

Métodos

Considerando o período de 2020, foram geradas as médias mensais, a partir de dados horários das seguintes variáveis atmosféricas: umidade relativa média, temperatura mínima, temperatura média, temperatura máxima e radiação solar.

Para a precipitação foram calculados os acumulados mensais e o total anual. Em complemento foram calculadas as médias horárias de radiação solar, obtendo o ciclo diurno.

Para o controle de qualidade das séries observadas, houve tratamento de dados através de análise exploratória, eliminando dados duvidosos tanto para as médias horárias, quanto para as médias diárias. Especificamente para a variável de radiação, foi aplicada a regra de que caso houvesse dois horários duvidosos ou faltantes no período das 08h às 16h (horários de maior contribuição solar), o dia foi considerado comprometido e, portanto, eliminado.

Para a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes no período, foram considerados os boletins e relatórios técnicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)¹ e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)².

Especificamente para a precipitação, devido a disponibilidade de uma longa série de dados na região de estudo (1999-2020), foi possível determinar os quantis mensais, para ter um comparativo com as condições observadas no ano de 2020 e identificar extremos de precipitação. Para isto, aplicou-se a classificação de SENA et al., (2014) a partir dos quantis mensais, que são mostrados no Quadro 2. Os quantis referem-se às probabilidades de 0,05; 0,15; 0,35; 0,65; 0,85; 0,95. Dessa forma foi determinado e classificado limites de intensidade para a chuva mensal, relacionada às ordens quantílicas descritas no Quadro 2 (categorias).

Quadro 2: Classificação das categorias e probabilidades da precipitação mensal relacionada às ordens quantílicas utilizadas para os municípios do ABC Paulista.

Categorias	Probabilidades
Extremamente seco (ES)	$Prec < Q_{0,05}$
Muito Seco (MS)	$Q_{0,05} \leq Prec < Q_{0,15}$
Seco (S)	$Q_{0,15} \leq Prec < Q_{0,35}$
Normal (N)	$Q_{0,35} \leq Prec < Q_{0,65}$
Chuvoso (C)	$Q_{0,65} \leq Prec < Q_{0,85}$
Muito Chuvoso (MC)	$Q_{0,85} \leq Prec < Q_{0,95}$
Extremamente Chuvoso (EC)	$Prec \geq Q_{0,95}$

Fonte: SENA et al., (2014)

¹ <http://tempo.cptec.inpe.br/>

² <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas>

Como referência climatológica para a estação de São Bernardo do Campo utilizou-se os dados da estação pluviométrica Jardim do Mar, disponibilizados pelo DAEE e para Ribeirão Pires se utilizou a estação pluviométrica Vila Mortari, administrada pela Defesa Civil de Ribeirão Pires.

Os eventos considerados como extremos ao longo do ano de 2020 (maior que $Q_{0,85}$ e menores que $Q_{0,15}$), além de serem os valores mais altos/baixos da série registrada foram associados a sistemas atmosféricos extremos identificados através dos Boletins do INMET e do CPTEC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO / RESULTS AND DISCUSSION

- Temperatura, umidade do ar e radiação solar

As séries de dados coletadas das EMAs são curtas para estabelecer climatologias de temperatura do ar e umidade na região do ABC Paulista. A série mais longa corresponde a EMA de Santo André (SA_TD) que até o presente estudo tem dados para o período de 2011 até 2020. Já a série mais curta corresponde a EMA de Ribeirão Pires (2018-2020).

A análise realizada para o ano de 2020, como explicado no objetivo, busca documentar as condições atmosféricas médias e as suas variabilidades nesse ano, as quais são diferentes em cada município da região. A Figura 2 mostra os gráficos com a distribuição mensal da temperatura média ($T_{méd}$), máxima ($T_{máx}$) e mínima ($T_{mín}$) e da umidade relativa média ($UR_{méd}$) para os quatro municípios analisados. Também, nos gráficos se incluiu a temperatura média para o período existente, que é diferente para cada município, apenas para ter uma base de comparação. Como esperado, as maiores temperaturas se concentram nos meses de verão e as menores nos meses de inverno.

De uma forma geral, nos meses de janeiro até abril, as $T_{méd}$ no ano de 2020 estiveram ligeiramente abaixo ($\sim 0,8$ °C) da condição média da série total existente para as EMAs, com destaque para São Bernardo do Campo e Santo André. Porém, houve meses em que as $T_{méd}$ em 2020 foram maiores do que o normal, com destaque para o início do inverno (junho) e da primavera (setembro), com a maior diferença de $2,4^{\circ}\text{C}$ (setembro) em São Caetano do Sul (Fig. 2c). As $T_{máx}$ e $T_{mín}$ variaram bastante mês a mês, e novamente se destaca o mês de setembro em todos os municípios, por apresentar um valor médio de $T_{máx}$ alto, muito próximo aos valores de $T_{máx}$ dos meses de verão.

Por outro lado, o valor médio da $T_{mín}$ apresentou os menores valores nos meses de maio e junho em todos os municípios. Já a $UR_{méd}$, de uma forma geral, apresentou os valores mais baixos nos meses de outono e inverno, como esperado, por serem os meses menos chuvosos. Comparando os valores mensais das temperaturas entre os municípios, observa-se que São Caetano do Sul se destaca com os mais altos valores de temperaturas ($T_{méd}$, $T_{máx}$, $T_{mín}$), e RP com os mínimos valores (Fig. 2b e 2c), chegando a ter diferenças de $2,5^{\circ}\text{C}$ no mês de setembro entre esses municípios.

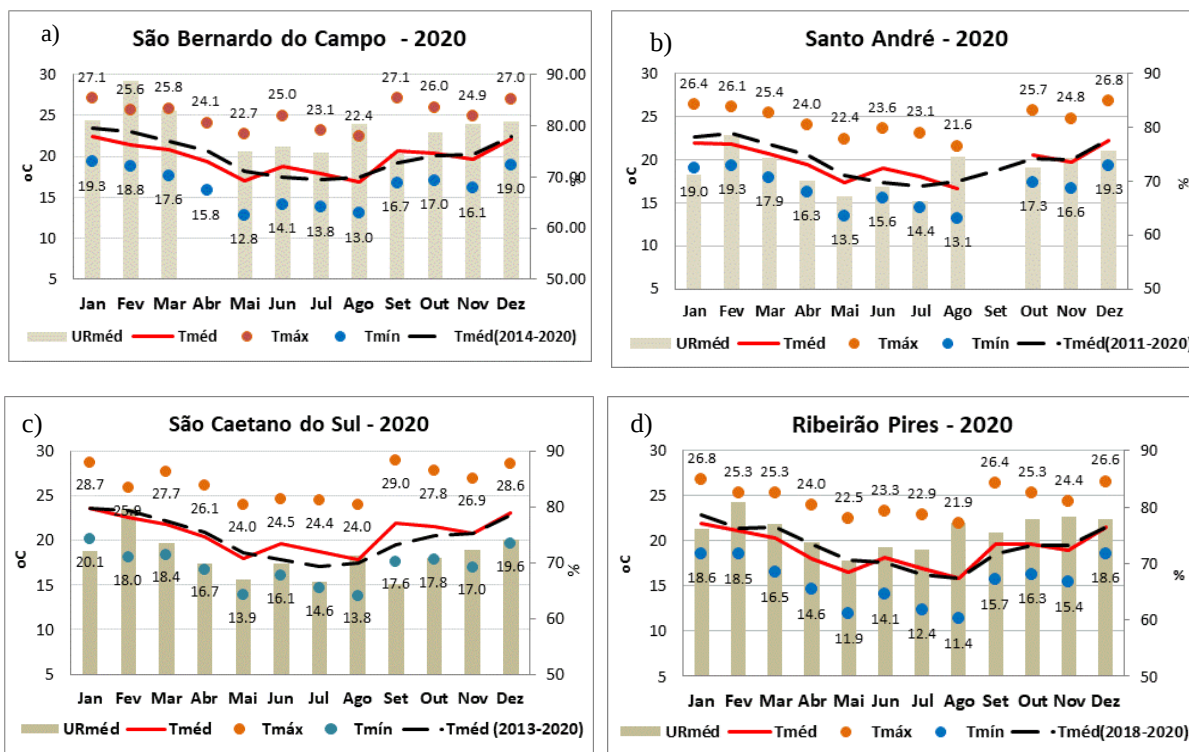


Figura 2: Valores médios mensais das temperaturas média, máxima e mínima e da umidade relativa média para o ano de 2020 nos municípios de São Bernardo do Campo (a), Santo André (b), São Caetano do Sul (c) e Ribeirão Pires (d).

Estudos prévios de clima urbano na região do ABC Paulista (VALVERDE et al., 2020; VALVERDE e PAIVA JUNIOR, 2018) que analisaram a temperatura do ar e o efeito de ilha de calor, destacam ao município de São Caetano do Sul, como um dos mais quentes da região do ABC Paulista, pelas suas características mais adensadas desde o ponto de vista populacional e urbanístico, além de se destacar como o de maior emissão veicular de CO₂ em ton/km, devido a apresentar extensas e movimentadas vias de tráfego. Estas características se constituem em altas fontes de calor o que influenciam nas condições da atmosfera local originando o aumento das temperaturas. Já Ribeirão Pires, por ser um município que tem suas águas e territórios protegidos pela Lei de Mananciais, e ainda estar inserido em uma área de Mata Atlântica³, tem características totalmente opostas a São Caetano do Sul o que torna as temperaturas mais amenas.

Os dados de irradiância solar foram analisados somente para as estações de São Bernardo de Campo, Santo André e Ribeirão Pires, não existiam dados disponíveis para São Caetano do Sul. A Figura 3a apresenta o gráfico das médias mensais, havendo uma falha no mês de setembro, que não apresentou uma série válida para análise, para a estação localizada em Santo André. É possível verificar que as estações de RP_UFABC, SBC_UFABC e SA_TD apresentaram comportamento semelhante com valores maiores nos meses de março - cuja estação é o verão- (246,42 W/m²; 232,34 W/m²; 178,07W/m²) e novembro - cuja estação é a primavera - (231,47 W/m²; 235,35 W/m²; 162,77 W/m²) e menor valor em junho - cuja estação é o inverno - (141,22 W/m²; 121,60 W/m²; 111,15 W/m²). Os maiores valores de irradiância também coincidem com os períodos de mais altas temperaturas, porém, março se destaca, provavelmente devido a que nesse mês choveu muito pouco, sendo considerado como extremamente seco, como será explicado a continuação. Com ausência de nebulosidade, não existe bloqueio para a radiação que atinge a superfície, isso pode explicar em parte o pico observado. Por outro lado, no mês de fevereiro choveu muito (Figura 4), o que deve ter influenciado para essa diminuição da radiação observada no gráfico mensal.

³ <https://www.ribeiraopires.sp.gov.br/sobre-ribeirao-pires/sobre-ribeirao-pires>

Na Figura 3b de ciclo diurno, pode-se inferir pelos valores de média horária que o índice de radiação começa a ter valor significativo com o nascer do sol próximo às 6h, com pico entre 11h e 13h e decresce ao longo do dia, de acordo com trajetória do sol no horizonte, com tendência a zero após as 17h, quando o sol se põe. Nas análises mensal e diária as maiores médias de radiação são em RP_UFABC e a mais baixa em SA_TD, havendo grandes diferenças entre os municípios de RP e SA. Uma possível causa deve estar associada à atmosfera menos poluída de RP o que torna uma atmosfera mais transparente para a entrada da radiação. Porém, as causas devem ser melhor investigadas.

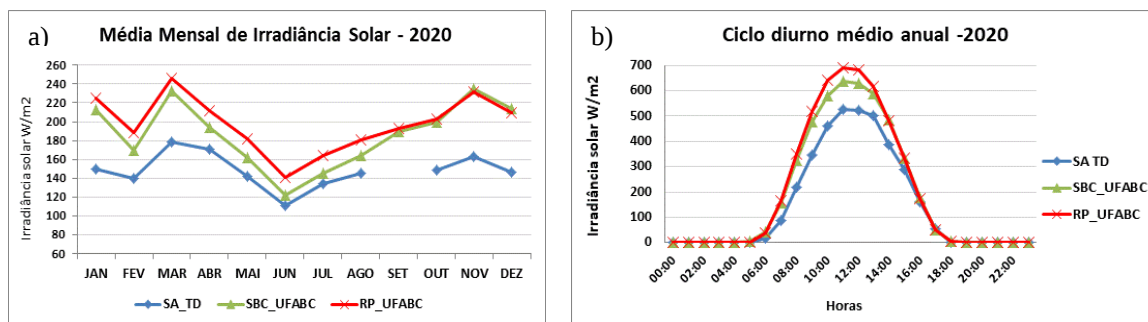


Figura 3: Média mensal (a) e ciclo diurno (b) de Irradiância solar em EMAs localizadas em 3 municípios de ABC Paulista para o ano de 2020.

Chuvas

As séries de precipitação na região do ABC Paulista são mais extensas e recentes para um período compreendido entre 1999-2020 (21 anos) o que possibilitou calcular os quantis, como explicado na metodologia.

A figura 4 apresenta a chuva mensal para os municípios de Santo André, São Bernardo do Campo e de Ribeirão Pires. Observa-se uma sazonalidade, com acumulados maiores nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, padrão típico das chuvas no ABC Paulista (VALVERDE et al., 2020). Verifica-se que, no mês de fevereiro se alcançam os maiores acumulados de chuva nos três municípios, com destaque para São Bernardo do Campo que atingiu um acumulado mensal de 460 mm, 290,5 mm a mais que o acumulado mensal climatológico para esse mês, e representa 171,6 % de excesso de chuva. Por esse motivo, o mês de fevereiro foi considerado extremamente chuvoso segundo a classificação adotada com base nos quantis.

Em Ribeirão Pires choveu 172,2 mm a mais em relação ao valor climatológico, e pela metodologia adotada dos quantis, esse mês foi considerado como muito chuvoso. De uma forma geral, na maioria dos meses, Ribeirão Pires teve os maiores acumulados mensais, exceto em fevereiro. Já Santo André apresentou os menores acumulados mensais quando comparado com os outros municípios (Figura 4a).

A Figura 4b mostra a classificação categórica da chuva para cada mês através dos quantis, verifica-se que nos meses de verão em Ribeirão Pires a classificação é de extremamente chuvoso (EC) e muito chuvoso (MC), já em São Bernardo do Campo, houve muita variação, somente fevereiro foi considerado EC e janeiro foi considerado um mês seco (S). Os meses de outono em São Bernardo do Campo foram considerados extremamente secos (ES), inclusive no mês de abril quando houve ausência total de chuva (Fig. 4a). Ribeirão Pires também apresentou déficit, porém não tão extremo como em SBC. De modo geral, nota-se a persistência de condições secas entre fevereiro e maio e chuvosos de novembro e dezembro.

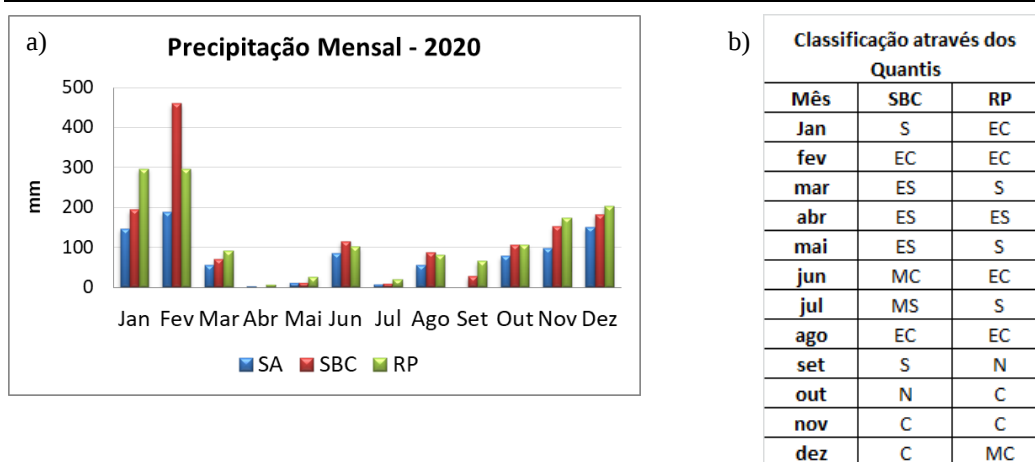


Figura 4: Precipitação mensal registrada pelas EMAs no ano de 2020 e tabela com a classificação através dos quantis.

No inverno, especificamente em junho e julho as chuvas retornaram devido à influência de frentes frias e do ciclone bomba (INMET, 2020), e os meses chegaram a se classificar como MC e EC. Os meses de primavera oscilaram entre Normal (N) e Chuvoso (C).

É conhecido que a variabilidade espacial da chuva é muito grande (CARDOSO E VALVERDE, 2020), especificamente em áreas urbanas. Normalmente é fácil observar tais diferenças a partir de dados diários, no entanto, para 2020, precipitações mensais e anuais já destacam a grande variabilidade espacial.

Extremos diários registrados e associação com Sistemas Atmosféricos que mais influenciaram a região no ano de 2020

Os sistemas atmosféricos que se destacaram e que influenciaram as condições de tempo e clima extremas na região sudeste do Brasil e consequentemente, no ABC Paulista foram as frentes frias, zona de convergência do atlântico sul (ZCAS), ciclone bomba, massas de ar seco, massas de ar frio e ondas de calor (INMET, 2020; CPTEC, 2020). Porém, cada município teve uma resposta particular à atuação desses sistemas, influenciado por suas características geográficas, de superfície e urbanização.

Os valores diários e horários mais altos e mais baixos das variáveis atmosféricas analisadas e os sistemas atmosféricos associados, ocorridos no ano de 2020 são apresentados no quadro 3, com base nos dados registrados nas EMAs.

Quadro 3: Eventos extremos registrados nas EMAs durante o ano de 2020.

Valores Extremos	Santo André	São Bernardo do Campo	Ribeirão Pires	São Caetano do Sul	Sistema Atmosférico Associado
Maior Temperatura	36,4°C (02/10 às 16h)	37,2°C (02/10 às 15h10)	37,3 °C (02/10 às 14h50)	38,4°C (02/10 as 15)	Onda de Calor
Menor Temperatura	8,5°C (21/08 às 22h)	8,2 °C (21/08 às 21h35)	5,2 °C (26/08 às 06h)	8,7 °C (21/08 às 23h)	Massa de ar de origem polar
Menor umidade relativa	13,3 % (28/10 às 17h)	26,7 % (14/09 às 14h30)	15,3 % (12/09 às 15h50)	14 % (28/10 às 18h)	Massa de ar seco

Mês mais chuvoso	188,7 mm (fevereiro)	460 mm (fevereiro - Extremamente chuvoso)	296,2 mm Fevereiro (Extremamente chuvoso)	276,6 mm (fevereiro)	Diversos Sistemas
Mês menos chuvoso	2,2 mm (abril)	0 mm Abril - (Extremamente seco)	5,8 mm Abril (Extremamente seco)	2,39 mm Abril	Anticiclone inibindo a nebulosidade
Dia com a maior chuva diária	69,6 mm 27/06 (a)	76,4 mm 10/02 (b)	73,2 mm 10/02 (b)	51,26 mm 08/01	Frente fria + ciclone; Instabilidade atmosférica
Maior vento registrado	11,3 m/s (01/07 às 04 h (c))	5,3 m/s (25/06 às 14h)	10,1 m/s (09/02 às 17:40)	6,1 m/s (10/02 às 9h)	Influência do ciclone bomba

Destaca-se a onda de frio, que ocorreu entre os dias 20 e 22 de agosto devido à incursão de uma massa de ar de origem polar (INMET, 2020) que causou um declínio extremo das temperaturas mínimas e máximas. Especificamente no dia 21/08/2020 registraram-se as mais baixas temperaturas em São Bernardo do Campo (8,5°C), São Caetano do Sul (8,7°C) e Santo André (8,2°C) (Quadro 3), afetando também grande parte do ABC Paulista. Devido ao frio extremo, foram registrados 6 óbitos na RMSP, inclusive no ABC Paulista⁴.

Outro extremo atmosférico identificado no ABC Paulista, devido aos altos valores de temperatura foi ocasionado por um evento severo de onda de calor que se iniciou o dia 30 de setembro e perdurou até o dia 2 de outubro (INMET, 2020; VALVERDE, 2021), o dia com as mais altas temperaturas foi 02/10 onde as temperaturas nos municípios oscilaram entre 36,4°C (Santo André) e 38,4°C (São Caetano do Sul) (Quadro 3).

Outro evento de Onda de Calor de menor intensidade também ocorreu entre os dias 10 e 13 de setembro (VALVERDE 2021), e as temperaturas máximas nas EMAs do ABC Paulista variaram entre 33°C e 34,2°C. Ribeirão Pires, apesar de ser um município menos impermeabilizado e verticalizado, registrou temperaturas máximas em torno de 35°C. Já, São Caetano do Sul e Diadema, municípios mais adensados e impermeabilizados, registraram temperaturas máximas em torno de 37°C.

As altas temperaturas que se registraram devido aos dois eventos de ondas de calor no mês de setembro influenciaram na temperatura média mensal e máxima mensal, e em todos os municípios do ABC Paulista, como observado na Figura 2.

Os dias mais secos com URs mais baixas ocorreram nos meses de setembro e outubro com predominância de massas de ar seco. Santo André registrou a mais baixa UR (13,3%) no dia 28/10. Por outro lado, fevereiro foi considerado um mês extremamente chuvoso em São Bernardo do Campo e Ribeirão Pires, segundo a técnica dos quantis. Contrariamente, abril foi considerado um mês extremamente seco como explicado na seção anterior (Figura 4b).

A máxima chuva diária ocorreu no dia 10 de fevereiro em São Bernardo do Campo (76,4 mm) e Ribeirão Pires (73,2 mm). Nesse dia, segundo o INMET⁵ a cidade de São Paulo sofreu uma das enchentes mais extremas, inundações e alagamentos. A cidade de São Paulo registrou um acumulado de 114 mm, o 2º maior valor histórico de fevereiro em 77 anos, só sendo superado pelos 121,8 mm ocorridos em

⁴ <https://www.brasildefato.com.br/2020/08/22/frio-intenso-causa-morte-de-cinco-moradores-de-rua-em-sp-nos-ultimos-2-dias>

⁵ <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas#>

02/02/1983. A causa estaria associada a áreas de instabilidade e a chegada de uma frente fria que provocaram altos volumes de chuva em parte do centro, sul e leste do estado de São Paulo (Figura 5a).

Em Santo André o maior registro diário (69,6mm) ocorreu o dia 27 de junho, este mês foi considerado MC e EC em São Bernardo do Campo e Ribeirão Pires, respectivamente. A chuva do dia 27 de junho se originou associada a ocorrência de um ciclone extratropical (ciclone bomba) (Figura 5b), esse ciclone também originou fortes ventos na região do ABC Paulista.

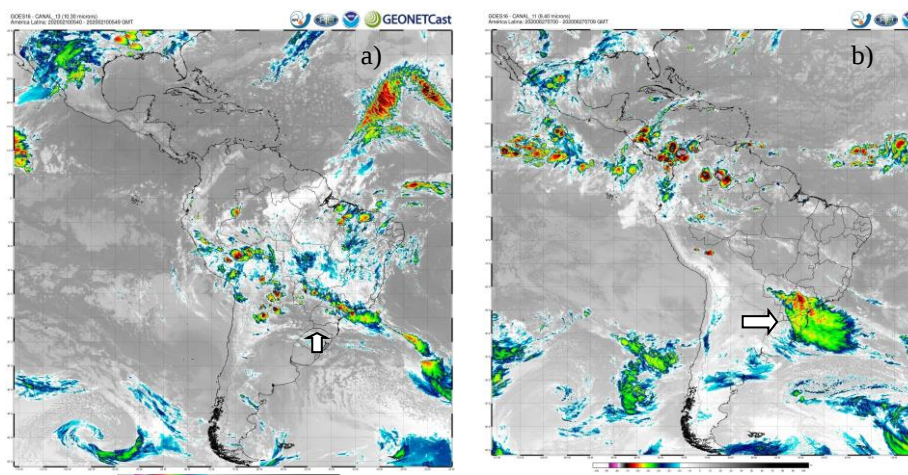


Figura 5: Imagem de satélite ilustrando a frente fria (seta branca) do dia 10/02/2020 que causou as grandes inundações na cidade de SP e em SBC e RP (a) e a imagem de satélite do dia 27/06/2020 que ilustra a nebulosidade associada ao ciclone bomba (b).

O mês de dezembro de 2020 se caracterizou como muito chuvoso, e se registraram chuvas contínuas. Dos 31 dias, em 22 deles choveu, contribuindo para que os canais dos rios na bacia do Tamanduateí aumentassem o nível da água. Apesar disso, não houve registros de inundações, mas sim de alagamentos.

Destaca-se o dia 29/12 que devido às chuvas, em alguns pontos do rio Tamanduateí (Figura 6a) e principalmente do Ribeirão dos Meninos (Figura 6b) houve iminência de transbordamento, como foi em Ribeirão dos Meninos (Clube São José) e Ribeirão dos Couros (Ford – SBC), que atingiu o nível de emergência, próximo ao extravasamento. As chuvas nesse dia oscilaram entre 30 e 45 mm no centro de Diadema e São Bernardo do Campo, sendo mais intensas entre as 20h e 23h.



Figura 6: Rio Tamanduateí (Av. da Paz – SA) (a) e Córrego do Meninos (Av. Lauro Gomes – SA) (b), dia 29/12 às 21h. Fonte: Imagens de câmeras de monitoramento do SEMASA, 2020.

CONCLUSÃO / CONCLUSION

Esta pesquisa objetivou principalmente apresentar as condições meteorológicas, climáticas e os principais sistemas atmosféricos ocorridos em 2020 que influenciaram as temperaturas, umidade relativa, irradiância e precipitação em quatro municípios do ABC Paulista, buscando comparar com o esperado para o período. Quanto as temperaturas, períodos mais frios nos quatros primeiros meses do ano, destacando São Bernardo do Campo e Santo André, e mais quentes no início do inverno e início da primavera, em maior

amplitude para São Caetano do Sul. Ficou evidenciado que no segundo semestre, ondas de calor e condições pré-frontais elevaram as temperaturas, principalmente no mês de setembro. Os valores de irradiância permaneceram dentro da média, exceto para o mês de março, que foi considerado como extremamente seco o que influenciou no aumento da irradiância registrada neste mês devido à ausência de nebulosidade, oposto do que ocorreu no mês anterior, sendo fevereiro de 2020 considerado um mês extremamente chuvoso com alta nebulosidade, que consequentemente diminuiu a irradiância naquele mês. As análises quantílicas permitiram identificar os eventos de extremamente seco a extremamente chuvoso, como para o mês de fevereiro de 2020 que foi classificado em todos os municípios como extremamente chuvoso. Além disso, verificou-se a persistência de condições secas entre fevereiro e maio e chuvosos de novembro e dezembro. No inverno, período considerado seco na região sudeste, fortes chuvas aconteceram em junho devido a influência de frentes frias e a formação de um ciclone bomba, fazendo com que os registros de altura pluviométrica do mês de junho fossem semelhantes ao de outubro. Os extremos estiveram principalmente associados a chegada de frentes frias e situações pré-frontais, influência de sistemas como a Zona de Convergência do Atlântico Sul, Ciclone Bomba, massas de ar seco e frio assim como as ondas de calor, tendo cada município analisado as suas próprias respostas à estas influências.

Apesar do predomínio de desvios semelhantes em determinados períodos para todos os municípios e variáveis analisadas, notou-se também uma variabilidade espacial das condições observadas e diferenças significativas entre os municípios em alguns meses, principalmente para precipitação, podendo até ocorrer condições extremas opostas. Neste sentido, é reforçada a importância do monitoramento contínuo nos diversos pontos e atualização das condições atmosféricas e climáticas da região, assim como a compreensão dos principais sistemas que associados influenciam a ocorrência de eventos extremos.

APOIO / ACKNOWLEDGMENT

Agradecimentos à Universidade Federal do ABC pelo apoio e financiamento do projeto de monitoria Climatologia e Variabilidade Climática – Estudos na Escala Municipal, Regional, Global e seus Impactos. EDITAL Nº 001/2021– Propostas de Melhoria do Ensino na Graduação – UFABC, e às Defesas Cíveis de Ribeirão Pires e Santo André pela parceria.

REFERÊNCIAS / REFERENCES

CARDOSO, A. de O.; VALVERDE, M. C. **Variabilidade da precipitação diária no ABC Paulista e aplicação de regionalização**. Engenharia no Século XXI Volume 19. 1ed.: Editora Poisson, 2020, v. 19, p. 153-164.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL GRANDE ABC (SP). O Grande ABC. In: **CONSÓRCIO ABC (SP). Institucional: Municípios Consorciados**. [S. l.]: Tommate MKT Digital, [entre 2016 e 2020]. Disponível em: <<https://consorcioabc.sp.gov.br/o-grande-abc>>. Acesso em: 19 abr. 2021.

DAMASCENO, A. D. O.; CARDOSO, A. O.; PAIVA, C. F. E. **Investigação da relação chuva-deslizamentos no município de Mauá – SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos**. Ciência e Natura, v. 43, e50, 2021. <https://doi.org/10.5902/2179460X43119>

DUARTE, K. P. A.; CARDOSO, A. O. **Diferenças nas variáveis meteorológicas sobre a cidade de Santo André**. In: I Simpósio de Ciência e Tecnologia Ambiental: Desafios e Perspectivas, 2019, Santo André - SP. Anais do I Simpósio de Ciência e Tecnologia Ambiental: Desafios e Perspectivas, 2019.

FIALHO, E. S.; FERNANDES, L. A.; CORREA, W. S. C. **Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], jun. 2019. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/65748>>. Acesso em: 31 ago. 2021. doi:<https://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65748>.

LABORATÓRIO DE MODELAGEM E ESTUDOS DE RECURSOS RENOVÁVEIS DE ENERGIA (LABREN). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2ª Edição (2017). Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>. Acesso em: 13/04/2021

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DE SANTO ANDRÉ (SEMASA). Defesa Civil: Monitoramento de Rios e Córregos. 2020. Disponível em: <
<https://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/monitoramento-rios-corregos/>>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SENA, Jaricélia Patrícia de Oliveira. **Caracterização da Precipitação na Microrregião do Cariri Paraibano por meio da Técnica dos Quantis** (Characterization of Precipitation in Cariri Paraíba Microregion Through Technique of Quantile). Revista Brasileira de Geografia Física, [S.l.], v. 7, n. 5, p. 871-879, jan. 2015. ISSN 1984-2295.

SIMEAO, A. B.; SCOPEL, S. B.; VALVERDE, M. C. **Estudo da ilha de calor urbana atmosférica em São Bernardo do Campo-SP e propostas de mitigação**. Revista Hipótese, v. 5, p. 671-698, 2019.

TOLMASQUIM, Mauricio T. (2015). **Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro**. 2º Edição Revista e Ampliada. Rio de Janeiro: Synergia.

VALVERDE, M. C.; DE PAIVA JUNIOR, H. **Temperatura do ar e emissões urbanas em região industrial de São Paulo, Brasil**. Acta Brasiliensis, v. 2, p. 45, 2018.

VALVERDE, M.C.; COELHO, L. H.; CARDOSO A. O. ; PAIVA JUNIOR, H.; BRAMBILA, R.; BOIAN, C.; MARTINELLI, P. ; VALDAMBRINI, N. M. **Urban climate assessment in the ABC Paulista Region of São Paulo, Brazil**. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, v. 735, p. 139303, 2020.

VALVERDE, M.C. **Efeito das ondas de calor na intensidade das ilhas de calor: estudo de caso para a Região Metropolitana de São Paulo – Setembro de 2020**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica: Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia – contextos para uma agenda socioambiental. UFPB – João Pessoa, 2021.