UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA
AMBIENTAL

Rafael Grecco Sanches

**Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP por meio de
índices climáticos e das tendências pluviométricas**

São Carlos
2019

RAFAEL GRECCO SANCHES

Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP por meio de índices climáticos e das tendências pluviométricas.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rogério Bruno Tech

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Costas dos Santos

São Carlos

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP
com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Grecco Sanches, Rafael

G211a Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP por meio de índices climáticos e das tendências pluviométricas / Rafael Grecco Sanches; orientador Adriano Rogério Bruno Tech; coorientador Carlos Antonio Costa dos Santos. São Carlos, 2019.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Climatologia tropical. 2. Variabilidade climática. 3. Climatologia estatística. 4. Índices climáticos. 5. Tendências pluviométricas. 6. Extremos climáticos. 7. Chuvas intensas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Licenciado **RAFAEL GRECCO SANCHES**.

Título da tese: "**Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP por meio de índices climáticos e das tendências pluviométricas**".

Data da defesa: 28/06/2019.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Adriano Rogerio Bruno Tech**
(Orientador)

(Faculdade de Zootecnia, Engenharia de Alimentos/FZEA-USP)

Aprovado

Prof. **Dr. Paulo Henrique de Souza**

(Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL)

APROVADO

Prof. **Dr. Vandoir Bourscheidt**

(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. **Dr. Antonio Luiz Ferrari**

(Academia da Força Aérea/AFA)

APROVADO

Profa. **Dra. Rosângela de Oliveira Colabone**

(Academia da Força Aérea/AFA)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia
Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

À minha sobrinha Luísa, à retórica do Clima e ao altruísmo.

Dedico

Agradecimentos

Ao professor Adriano Tech, pela compreensão, aceitação e discussões as quais serei eternamente grato.

Ao professor Francisco Vecchia, eterno mentor e idealizador do núcleo de climatologia na USP/São Carlos.

Ao professor Carlos, coorientador que, mesmo distante, me inspirou nos saberes climatológicos.

Aos meus companheiros e amigos de jornada climatológica: Bruno, Maurício, Gustavo, Nuria, Perussi, Diego, Brússolo, Thiago, Isabela, Bárbara e Taísa, bem como os amigos e parceiros da FZEA pela cumplicidade.

Aos técnicos da estação climatológica do CRHEA: Betão e André. Sou imensamente grato a vocês em minha jornada.

Aos meus familiares, pois somente vocês tornaram esse sonho realidade. Antonio Carlos, Regina, Vinícius, Juliana, Luísa, Aninha, Alzira, Roberto (*in memoriam*), Aristeo (*in memoriam*) e Elvira (*in memoriam*). Vocês são tudo para mim! Amo vocês!

Aos meus sogros (outros pais) Édino e Janisse, pelo apoio e carinho incondicionais. Amo vocês!

Aos meus primos, em especial a Rodrigo e Elisa, pois não há palavras que expressem minha gratidão a vocês. Vocês me inspiram!

Ao Muay-Thai e à Chute Boxe, que me inspiram a ser melhor, sempre.

Aos meus amigos Lucas, Danilo e Tadeu. Vocês são sinistros!

Por fim, àquela a quem devo esse momento, essa tese e tudo que me faz ser melhor. Letícia, serei eternamente grato ao seu companheirismo, apoio, discussões (sempre filosóficas) e amor incondicionais. Te amo hoje e te amarei para todo o sempre!

I don't feel the sun's coming out today....

It's staying in..... It's gonna find another way

As I sit here in this misery

I don't think I'll ever know, oh Lord

See the sun from here

And oh! As I fade away

They'll all look at me and say, and then they'll say

"Hey, look at him! I'll never live that way"

But that's ok, they're just afraid of change

And when you feel life ain't worth living

You've got to stand up, and take a look around, look up way to the sky

And when your deepest thoughts are broken

Keep on dreamin' boy, 'cause when you stop dreamin it's time to die

And as we all play parts of tomorrow

Some ways we'll work, and other ways we'll play

But I know we can't all stay here forever

So I'm gonna write my words on the face of today....

....and then they'll paint it

And oh! As I fade away

They'll all look at me and say, and then they'll say

"Hey look at him, and where he is these days"

when life is hard, you have to change...

When life is hard you have to change.

(Blind Melon – Change, 1992)

RESUMO

SANCHES, R. G. **Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP por meio de índices climáticos e das tendências pluviométricas.** 2019. 201p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

A heterogeneidade dos elementos que compreendem a climatologia tropical se evidencia no comportamento das chuvas nessa região macroclimática. Para tanto, compreender seu comportamento temporal e espacial assume grande relevância, em função do impacto dessas na dinâmica urbana e rural, bem como para seu planejamento estratégico. Verificar seu curso interanual em episódios diários é grande desafio, nesse sentido. Com isso, o estudo objetivou analisar as chuvas diárias na região de São Carlos/SP, a fim de compreender sua evolução temporal e espacial, além de avaliar possíveis tendências para essa, que se insere na dinâmica tropical (sazonalmente chuvoso/estiagem). Foram analisados 39 anos de dados diários de chuvas, em 7 postos pluviométricos, e que estiveram com, ao menos, 95% dos dados consistentes. Utilizou-se de índices climáticos (*script* RClimdex) e do *Laplace trend factor* para analisar os dados temporais históricos e de tendência. Observou-se que os valores dos índices flutuam entre as estações, mas que esses estão associados aos fenômenos da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e dos SFs (Sistemas Frontais), que regem o clima no sudeste da América do Sul. Além disso, notou-se que o sul da área estudada apresenta maior concentração pluviométrica, em função dos aspectos geomorfológicos (e até de ocupação), bem como notou-se o aumento de episódios extremos de chuvas diárias. As chuvas diárias, portanto, tendem a concentração, uma vez que os volumes anuais diminuem ou aumentam (ciclicamente), mas notam-se precipitações pluviométricas mais intensas (mm) em dias chuvosos, além do aumento da tendência dos dias com chuvas extremas. Futuros estudos que ampliem a área de estudo e possíveis correlações poder-se-ão reafirmar tais resultados, conforme verificado em estudos prévios.

Palavras-chave: Climatologia tropical. Variabilidade climática. Climatologia estatística. Índices climáticos. Tendências pluviométricas. Extremos climáticos. Chuvas intensas.

ABSTRACT

SANCHES, R. G. **Analysis of daily rainfall in São Carlos/SP using climatic indexes and trend test.** 2019. 201p. Thesis (Doctoral Degree in Environmental Engineering Sciences). São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2019.

Rainfall shows the heterogeneity of tropical climatology. Temporal and spatial behavior is highly relevant to verify the impact on urban and rural dynamics and strategic planning. The inter-annual course in daily episodes is the biggest challenge in that regard. The objective of this study was to analyze daily rainfall in the São Carlos/SP region, understand its temporal and spatial evolution, as well as to evaluate possible trends for this, which are part of tropical (seasonally rainy/dry) dynamics. A total of 39 years of daily rainfall data were analyzed in 7 pluviometric stations, with at least 95% of the data consistent using Climatic indexes (RClimdex script), and the Laplace trend factor to analyze temporal and trend data. It was observed that the values of the indexes fluctuate between the stations. These are associated with the phenomena of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and SFs (Frontal Systems), which regulates the climate in the south-east of South America. Also, the south of the studied area presents a higher rainfall concentration, due to the geomorphological (and even occupation) aspects, as well as the increase of extreme episodes of daily rains. Therefore, daily rains tend to concentrate, since annual volumes decrease or increase (cyclically), but the rainfall (mm) is more intense on rainy days, in addition to the increase in the tendency of the days with extreme rains. Future studies that broaden the area of study and possible correlations may reaffirm such results, as verified in previous studies.

Keywords: Tropical climatology. Climatic variability. Statistical climatology. indexes. Rainfall. Trends. Weather extremes.

Lista de Figuras

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS EM SÃO CARLOS/SP.	48
FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO DE LAPLACE: CHAMADO DE TESTE COMBINADO DE LAPLACE QUE É APROXIMADAMENTE UMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRÃO.	57
FIGURA 3. LAPLACE TREND FACTOR.	58
FIGURA 4. HISTOGRAMA E ESTATÍSTICAS BÁSICAS DAS CHUVAS DIÁRIAS NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.....	62
FIGURA 5. GRÁFICO DOS VALORES DE PRCPTOT (ACUMULADO), ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	64
FIGURA 6. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DA PRCPTOT, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.....	65
FIGURA 7. PRCPTOT –MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DOS VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA NAS ESTAÇÕES.	66
FIGURA 8. GRÁFICO DOS VALORES DE CDD, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	67
FIGURA 9. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DA CDD (DIAS CONSECUTIVOS SECOS), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	68
FIGURA 10. CDD – MÁXIMO E MÍNIMO DOS VALORES DOS DIAS CONSECUTIVOS SECOS NAS ESTAÇÕES	69
FIGURA 11. GRÁFICO DOS VALORES DE CWD, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	70
FIGURA 12. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DA CWD (DIAS CONSECUTIVOS CHUVOSOS), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	71
FIGURA 13. CWD –MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DOS VALORES DOS DIAS CONSECUTIVOS ÚMIDOS NAS ESTAÇÕES.	72
FIGURA 14. GRÁFICO DOS VALORES DE SDII, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.....	73
FIGURA 15. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO SDII (INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	74
FIGURA 16. SDII – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO MÁXIMO DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA DIÁRIA NAS ESTAÇÕES.....	76

FIGURA 17. GRÁFICO DOS VALORES DE RX1 DIA, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	77
FIGURA 18. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO RX1 DIA (MÁXIMO ACUMULADO EM 1 DIA), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	78
FIGURA 19. RX1 DIA – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO MÁXIMO ACUMULADO DE CHUVAS (MM), EM UM ÚNICO DIA, NAS ESTAÇÕES.	80
FIGURA 20. GRÁFICO DOS VALORES DE RX5 DIAS, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	81
FIGURA 21. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO RX5 DIAS (MÁXIMO ACUMULADO EM 5 DIAS CONSECUTIVOS DE CHUVAS), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	82
FIGURA 22. RX5 DIAS – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO MÁXIMO ACUMULADO DE CHUVAS (MM), EM CINCO DIAS CONSECUTIVOS, NAS ESTAÇÕES.	84
FIGURA 23. GRÁFICO DOS VALORES DE R10MM, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	86
FIGURA 24. R10MM – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 36MM DE CHUVAS NAS ESTAÇÕES.	87
FIGURA 25. GRÁFICO DOS VALORES DE R20MM, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	88
FIGURA 26. R20MM – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 36MM DE CHUVAS NAS ESTAÇÕES.	89
FIGURA 27. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO R10MM (NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 10MM), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	90
FIGURA 28. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO R20MM (NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 20MM), NAS ESTAÇÕES, 1979-2017.	91
FIGURA 29. LOCALIZAÇÃO DAS DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS NO ESTUDO.	92
FIGURA 30. GRÁFICO DOS VALORES DE R35MM, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1993-2014.	95
FIGURA 31. GRÁFICO DOS VALORES DE R46MM, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1993-2014.	96
FIGURA 32. GRÁFICO DOS VALORES DE R60MM, ANUALMENTE, NAS ESTAÇÕES, 1993-2014.	98
FIGURA 33. GRÁFICO DOS VALORES DE R36MM, ANUALMENTE, NAS 7 ESTAÇÕES, 1993-2014.	103
FIGURA 34. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO R36MM (NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 36MM), NAS 7 ESTAÇÕES, 1979-2017.	104

FIGURA 35. R36MM – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 36MM DE CHUVAS NAS ESTAÇÕES.....	105
FIGURA 36. GRÁFICO DOS VALORES DE R46MM, ANUALMENTE, NAS 7 ESTAÇÕES, 1993-2014.	106
FIGURA 37. GRÁFICO DE HISTOGRAMA DO R46MM (NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 36MM), NAS 7 ESTAÇÕES, 1979-2017.	107
FIGURA 38. R46MM – MÁXIMO, MÉDIA E MÍNIMO DO NÚMERO DE DIAS ACIMA DE 46MM DE CHUVAS NAS ESTAÇÕES.....	109
FIGURA 39. MAPA DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL	113
FIGURA 40. COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR (%) NO BRASIL.	114
FIGURA 41. ÁREA TOTAL PLANTADA, POR CULTURA AGRÍCOLA, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	115
FIGURA 42. PARTICIPAÇÃO (%) DAS CULTURAS AGRÍCOLAS NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	115
FIGURA 43. LOCALIZAÇÃO DA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP	116
FIGURA 44. DESVIOS DE PRECIPITAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR (TON) NO PERÍODO DE 1994-2015.	119
FIGURA 45. ÁREA TOTAL PLANTADA E A PRODUÇÃO (TON) DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	122
FIGURA 46. PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL E A PRODUÇÃO (TON) DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	123
FIGURA 47. INTENSIDADE SIMPLES, DIÁRIA, DAS CHUVAS (SDII) E A PRODUÇÃO (TON) DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.	124
FIGURA 48. DIAS CONSECUTIVOS SECOS (DCS) E A PRODUÇÃO (TON) DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	125
FIGURA 49. DIAS CONSECUTIVOS ÚMIDOS (DCU) E A PRODUÇÃO (TON) DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.	126

FIGURA 50. VALORES MÁXIMOS DE CHUVA ACUMULADA EM 5 DIAS CONSECUTIVOS (RX5 DIAS) E A PRODUÇÃO (TON) DE CANA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP....	127
FIGURA 51. PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA (PRCPTOT) E A PRODUTIVIDADE (TON/HA) DE CANHA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	129
FIGURA 52. MÁXIMO DE DIAS CONSECUTIVOS SECOS (CDD) E A PRODUTIVIDADE (TON/HA) DE CANHA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	129
FIGURA 53. INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA DIÁRIA (SDII) E A PRODUTIVIDADE (TON/HA) DE CANHA-DE-AÇÚCAR, NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP.....	129
FIGURA 54. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS EM SÃO CARLOS/SP.	136
FIGURA 55. TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS NAS ESTAÇÕES DE SÃO CARLOS/SP, 1979-2017.	138
FIGURA 56. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO FAZENDA DA BARRA, 1979-2017. ...	139
FIGURA 57. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO SANTA EUDOXIA, 1979-2017.....	140
FIGURA 58. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO DA FAZENDA SANTA BÁRBARA, 1979- 2017.....	141
FIGURA 59. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO DA FAZENDA ÁGUA BRANCA, 1979-2017.	142
FIGURA 60. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO INMET/UFSCAR, 1979-2017.....	143
FIGURA 61. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO DO RIBEIRÃO FEIJÃO, 1979-2016.....	144
FIGURA 62. TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO USINA CAPÃO PRETO, 1979-2014....	145
FIGURA 63. ANÁLISE LOCAL DA TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO FAZENDA DA BARRA. 1979-1985.	147
FIGURA 64. ANÁLISE LOCAL DA TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO FAZENDA DA BARRA. 1986-2001.	148
FIGURA 65. ANÁLISE LOCAL DA TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO FAZENDA DA BARRA. 2002-2017.	149
FIGURA 66. ANÁLISE LOCAL DA TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO DO RIBEIRÃO FEIJÃO. 1979-1985.	150

FIGURA 67. ANÁLISE LOCAL DA TENDÊNCIA DE LAPLACE PARA A ESTAÇÃO DO RIBEIRÃO FEIJÃO. 1986-2016.	151
FIGURA 68. HISTOGRAMA E DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA PRECIPITAÇÃO TOTAL (ACIMA DE 1MM) E DAS CHUVAS NORMAIS (ATÉ 35 MM) NAS ESTAÇÕES. 1979-2017.	156
FIGURA 69. HISTOGRAMA E DISTRIBUIÇÃO NORMAL DAS CHUVAS INTENSAS (DE 35 A 45MM) E DAS CHUVAS EXTREMAS (ATÉ 46MM) NAS ESTAÇÕES. 1979-2017.	157
FIGURA 70. TENDÊNCIAS DAS CHUVAS INTENSAS NAS ESTAÇÕES: (65A) STA. EUDOXIA; (65B) FAZ. ÁGUA BRANCA; (65C) RIBEIRÃO FEIJÃO; (65D) INMET/UFSCAR, 1979-2017.	159
FIGURA 71. TENDÊNCIAS DAS CHUVAS INTENSAS NAS ESTAÇÕES: (66A) STA. BÁRBARA; (66B) FAZ. DA BARRA; (66C) USINA CAPÃO PRETO, 1979-2017.....	160
FIGURA 72. TENDÊNCIAS DAS CHUVAS EXTREMAS NAS ESTAÇÕES: (67A) FAZ. ÁGUA BRANCA; (67B) STA. BÁRBARA; (67C) INMET/UFSCAR; (67D) RIBEIRÃO FEIJÃO, 1979-2017.....	162
FIGURA 73. TENDÊNCIAS DAS CHUVAS EXTREMAS NAS ESTAÇÕES: (68A) STA. EUDOXIA; (68B) FAZ. DA BARRA; (68C) USINA CAPÃO PRETO, 1979-2017.....	163
FIGURA 74. MAPA DAS TENDÊNCIAS PARA AS CHUVAS INTENSAS E EXTREMAS NAS ESTAÇÕES.	165
FIGURA 75. TENDÊNCIAS DOS DIAS DE CHUVAS INTENSAS (R36MM) NAS ESTAÇÕES: (70A) STA. EUDOXIA; (70B) FAZ. DA BARRA; (70C) INMET/UFSCAR; (70D) STA. BÁRBARA; (70E) RIBEIRÃO FEIJÃO; (70F) ÁGUA BRANCA; (70G) USINA CAPÃO PRETO, 1979-2017.FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	167
FIGURA 76. TENDÊNCIAS DOS DIAS DE CHUVAS EXTREMAS (R46MM) NAS ESTAÇÕES: (71A) STA. EUDOXIA; (71B) FAZ. DA BARRA; (71C) INMET/UFSCAR; (71D) STA. BÁRBARA; (71E) RIBEIRÃO FEIJÃO; (71F) ÁGUA BRANCA; (71G) USINA CAPÃO PRETO, 1979-2017.....	168
FIGURA 77. MAPA DAS TENDÊNCIAS PARA O NÚMERO DE DIAS DE CHUVAS INTENSAS (R36MM) E EXTREMAS (R46MM) NAS ESTAÇÕES.....	170
FIGURA 78. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO ÁGUA BRANCA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	198

FIGURA 79. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO FAZENDA DA BARRA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	198
FIGURA 80. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO SANTA BÁRBARA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	199
FIGURA 81. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO SANTA EUDOXIA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	199
FIGURA 82. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO INMET/UFSCAR. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	200
FIGURA 83. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO RIBEIRÃO FEIJÃO. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	200
FIGURA 84. GRÁFICO DA FREQUÊNCIA E DA FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS NA ESTAÇÃO USINA CAPÃO. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	201

Lista de Tabelas

TABELA 1. DESCRIÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS EM SÃO CARLOS/SP. FONTE: OS AUTORES.	47
TABELA 2. METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO. FONTE: ADAPTADO DE ZHANG E YANG (2004).	51
TABELA 3. ESTATÍSTICAS BÁSICAS DAS CHUVAS DIÁRIAS NAS ESTAÇÕES, 1979-2017. ELABORADO PELO AUTOR.	62
TABELA 4. DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS NO ESTUDO. FONTE: ADAPTADO DE (SANCHES, 2015; SANCHES ET AL., 2018).	92
TABELA 5. CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS QUANTO A INTENSIDADE.(BLAIN, 2011, 2013; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK ET AL., 2006; SANTOS ET AL., 2012; ZILLI ET AL., 2017) ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 1998.	94
TABELA 6. DESASTRES ASSOCIADOS ÀS CHUVAS NA REGIÃO DE SÃO CARLOS/SP, 2005-2016. FONTE: ADAPTADO DE SIMPAT/IPMET.	101
TABELA 7. LEGENDA DO CÓDIGO DE OCORRÊNCIAS/DANOS DAS REPERCUSSÕES ESPACIAIS.FONTE: ADAPTADO DE SIMPAT/IPMET.	102
TABELA 8. CLASSIFICAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS ANOS-PADRÕES. ADAPTADO DE (BRAIDO; TOMMASELLI, 2010; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017; SILVESTRE, 2013).	117
TABELA 9. OCORRÊNCIA DAS CLASSES DE “ANOS PADRÃO” NA SÉRIE HISTÓRICA CONSIDERADA. FONTE: ADAPTADO PELO AUTOR.	118
TABELA 10. DESCRIÇÃO DOS DADOS DE TENDÊNCIA DA ESTAÇÃO FAZENDA SANTA BÁRBARA. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	141
TABELA 11. ESTATÍSTICAS BÁSICAS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NORMAL (ATÉ 35 MM) E DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA INTENSA (DE 36 MM A 45 MM) NAS ESTAÇÕES. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	154

TABELA 12. ESTATÍSTICAS BÁSICAS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA EXTREMA (ACIMA DE 46MM) NAS ESTAÇÕES. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.	155
--	-----

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. DETECÇÃO DE OUTLIERS (OBSERVAÇÕES ANORMAIS).	53
EQUAÇÃO 2. LAPLACE TREND FACTOR (TESTE DE TENDÊNCIA DE LAPLACE).	55

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO DA TESE	29
2	INTRODUÇÃO	31
3	HIPÓTESE E OBJETIVOS	35
4	BIBLIOGRAFIA BÁSICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	37
4.1	Dinâmica das chuvas na região sudeste do Brasil	37
4.2	Chuvas diárias em eventos intensos e extremos	40
5	METODOLOGIA	45
5.1	Área de estudo e Materiais	45
5.2	Métodos	49
5.2.1	RClimdex e Índices Climáticos	49
5.2.2	Teste de tendências – Teste de Laplace	54
6	RESULTADOS	59
6.1	Resultados das estatísticas básicas nas estações	60
6.2	Resultados dos índices calculados pelo <i>script</i> RClimdex na área de estudo	63
6.2.1	PRCPTOT – Precipitação total acumulada	63
6.2.2	CDD – Dias consecutivos secos	67
6.2.3	CWD – Dias consecutivos úmidos (chuvosos)	69
6.2.4	SDII – Índice de intensidade simples de chuva diária	73
6.2.5	RX1 dia	77

6.2.6	RX5 dias _____	81
6.2.7	Rnn – Número de dias acima de nn^* (mm) de chuva _____	85
6.3	Resultados dos índices calculados pelo script RClimdex em outras regiões e análises distintas _____	111
6.3.1	Influência da variabilidade climática na produção canavieira na microrregião de São Carlos/SP no período de 1994 a 2014. _____	111
6.3.2	Índices climáticos e chuvas intensas no município de Alfenas/MG no período de 1984-2016. _____	131
6.4	Análises de tendências para as chuvas diárias em São Carlos/SP _____	131
6.4.1	Análise das chuvas diárias em São Carlos/SP, 1979-2017 por meio do teste de tendência de Laplace (Analysis of daily rainfall in São Carlos/SP over 1979-2017 using Laplace Trend Test). _____	133
6.4.2	Tendências das chuvas diárias intensas e extremas em São Carlos/SP, 1979-2017 (Trends of intense and extreme daily rainfall events in São Carlos/SP, 1979-2017). 152	
7	CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES _____	171
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	177

1 Apresentação da tese

O presente estudo intitulado “Análise das chuvas diárias na região de São Carlos/SP, por meio de índices climáticos e das tendências pluviométricas” expressa a continuidade do trabalho realizado no período de mestrado e, com a evolução para esta tese, notou-se a expressiva necessidade de rearranjar as bases de dados, bem como ferramentas que ilustrassem a dinâmica e evolução das chuvas diárias nessa região do Estado de São Paulo e sudeste brasileiro.

Com isso, a tese constitui a sistematização dos trabalhos produzidos entre os anos de 2016 e 2019, bem como as adequações metodológicas e os resultados obtidos por meio desses trabalhos sendo, portanto, essa uma coletânea dos estudos sistematizados realizados durante o doutoramento.

Para tanto, a tese está organizada nas seguintes seções:

- 1) Introdução, com um breve relato acerca da pesquisa, seu escopo, bem como a justificativa para a realização da mesma;
- 2) Hipótese e objetivos do estudo na região;
- 3) Fundamentação teórica, que inclui uma bibliografia básica com trabalhos publicados na área de climatologia, em especial para a região e sobre bases metodológicas junto à estudos de chuvas para o sudeste brasileiro;
- 4) Metodologia, com os dados e as bases de dados utilizadas no estudo, bem como as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento desse;
- 5) Resultados, que expressam os artigos produzidos, publicados e/ou submetidos (em análise). Nessa seção, foram selecionados os principais trabalhos produzidos para dispor de uma coletânea que representasse as ferramentas e as principais características da região estudada;

6) Consideração finais, com as principais contribuições deixadas pelos respectivos trabalhos, além de discussões acerca de potencialidades, fragilidades e próximos passos.

7) Apêndices, que incluem alguns itens que embasaram o presente estudo, mas não foram inseridos nos resultados, sendo:

- Apêndice A: Tabelas e gráficos com os dados totais calculados, individualmente, entre as estações.

2 Introdução

Os elementos que caracterizam a dinâmica atmosférica e a gênese climatológica são, apenas, exemplos da complexidade física presente no planeta Terra.

Sendo tais elementos complexos, as observações e análises desses contribuem para, além de seu melhor entendimento, melhorias no âmbito do planejamento local e regional dos países.

Embora conceitos, como anomalia e mudança climática sejam fundamentalmente distintos, não é possível dizer que ocorrem de maneira independente, e que, entre mudanças climáticas de curto prazo sofrem flutuações em algumas dezenas de anos (SUGUIO, 2008).

Ressalta-se, ainda, que anomalias e mudanças climáticas produzem efeitos de diferentes intensidades para os seres vivos, expressando enorme desafio para interpretar o limiar das condições ambientais encontradas, em um local da superfície terrestre, durante um intervalo de tempo, etc., e que pode representar uma anomalia e/ou mudança climática.

Com isso, verificam-se diferentes conceitos e aplicações das alterações climáticas no que tange a climatologia. Tais conceitos se distinguem em função da aplicação estatística, da natureza dos fenômenos climáticos, da recorrência de eventos climáticos, entre outros, conforme observado abaixo (SANCHES, 2015):

- Mudança climática: toda e qualquer manifestação de inconstância climática, independentemente de sua natureza estatística, escala temporal ou causas físicas;
- Tendência climática: aumento ou diminuição lenta dos valores médio ao longo de série de dados de, no mínimo, três décadas, podendo ou não ocorrer de forma linear;
- Descontinuidade climática: mudança abrupta e permanente de um valor médio durante o período de registro;
- Flutuação climática: qualquer mudança que se expresse por duas máximas (ou mínimas) e uma mínima (ou máxima) observada no período de registro;

- Variação climática: flutuação sem padrão específico, observado em escala de décadas;
- Oscilação climática: flutuação onde se registram máximas e mínimas sucessivas;
- Vacilação climática: flutuação na qual a variável tende a permanecer, alternadamente, em torno de dois (ou mais) valores e a movimentação de um valor médio para outro ocorre a intervalos regulares e irregulares;
- Periodicidade climática: oscilação em que as máximas e as mínimas ocorrem a intervalos de tempos iguais;
- Variabilidade climática: maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro, expressos através do desvio-padrão ou coeficiente de variação.

A importância da compreensão dos elementos climáticos para fins de pesquisa e que atendam a diferentes requisitos e até critérios teórico-metodológicos, se fazem necessários em diferentes áreas do conhecimento. Para compreender a gênese e a dinâmica climática, a obtenção e análise de dados temporais e espaciais do clima são de grande importância, uma vez que séries de dados tornam as análises climáticas mais precisas e robustas.

Dentre os mecanismos utilizados para a interpretação de dados climatológicos a análise estatística alcança destaque em razão de permitir a avaliação de um sistema climático a partir das inúmeras informações (variáveis climáticas) que o compõe, permitindo ainda a observação de pressupostos quanto a mudanças ocorridas em seu interior (ZWIER; VON STORCH, 2004).

Ainda que as variáveis (atributos) climáticas apresentem-se, por seus dados, como elementos heterogêneos e passíveis de flutuações (como é o caso das chuvas), ferramentas de análises de dados são necessárias para analisar o dinamismo espacial (microclimática, mesoclimática e até mesmo global) e temporal do clima (MONTEIRO, 2015).

Diante das características que compõem os climas da América do Sul e do sudeste brasileiro, notam-se inúmeros estudos que reafirmam a complexidade dos seus elementos,

bem como na análise temporal dos seus efeitos espaciais (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; CAVALCANTI, 2012; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; MARENGO et al., 2012; MUZA et al., 2009; RAO; HADA, 1990; REBOITA et al., 2010, 2012; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Tais estudos vêm apontando para mudanças significativas no comportamento temporal (anual, mensal e diários) das chuvas nessa região da Terra, enquanto uma das mais expressivas junto ao entendimento de possíveis alterações climáticas. Além disso, essas possíveis alterações se reafirmam por meio de impactos ambientais e sociais de grande ocorrência e recorrência significativas.

Com isso, analisar o comportamento pluviométrico, principal elemento discutido na grande maioria dos estudos em climatologia tropical e nessa região do planeta, expressa inúmeras possibilidades e lacunas a serem preenchidas, por meio de estudos de natureza estatística, de climatologia regional, etc.

Este estudo pode contribuir para com a compreensão da dinâmica das chuvas, por meio de uma das regiões onde o comportamento pluviométrico é flutuante, sazonal, além de expressar umas das regiões do Brasil em que os aspectos do clima são mais heterogêneos espacial e temporalmente.

Em tempo, estudos que possibilitem a compreensão dos dados pluviométricos, seu comportamento sazonal na região e as tendências para as chuvas, em seu total ou em eventos extremos, apresentam grande interesse em climatologia.

Analisar, compreender e projetar a evolução das chuvas nessa região do interior do Estado de São Paulo contribui, portanto, como um experimento *in situ*, replicável nas técnicas e nas análises, para outras regiões do país e do continente.

3 Hipótese e objetivos

Hipótese: “As chuvas diárias na microrregião de São Carlos/SP estão se modificando temporal e espacialmente ao longo dos anos? ”

3.1 Objetivos

Analisar e avaliar o comportamento e distribuição das chuvas diárias na microrregião de São Carlos/SP por meio de dados históricos.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar a flutuação dos dados diários de chuvas por meio de índices climáticos, em especial, os índices para chuvas;
- Determinar as chuvas intensas e extremas para a região a partir da análise dos dados;
- Avaliar as tendências para as chuvas diárias e seus respectivos valores intensos e extremos na série histórica.

4 Bibliografia básica e fundamentação teórica

4.1 Dinâmica das chuvas na região sudeste do Brasil

A dinâmica e os fluxos atmosféricos sul-americanos estão diretamente associados às chuvas, sendo que os aspectos físicos e de circulação da atmosfera tornam essa região do planeta uma das áreas com presença de chuvas mais intensas, destacando os ventos, uma vez que expressam áreas de convergência e onde os elementos frontogenéticos (frentes frias e quentes) tem grande atuação (SERRA; RATISBONNA, 1942).

A variabilidade na ocorrência das chuvas na região tropical se coloca mais sazonal do que nas áreas extratropicais, uma vez que as baixas latitudes são controladas pelo eixo norte-sul dos ventos e associadas à convergência e divergência desses (AYOADE, 2002).

No sudeste do Brasil, por exemplo, fenômenos típicos de verão da América do Sul, como a convergência de ventos com a persistência de nebulosidade sentido noroeste-sudeste pode persistir e acarretar em elevados volumes de chuvas regionais (STEINKE, 2012).

A ocorrência desses fenômenos sazonais é marcada pelo aquecimento de algumas áreas da América do Sul, formando uma área ascendente na troposfera e de divergência de ar próximo a tropopausa denominada Alta da Bolívia (AB), que acarreta na elevação da umidade em níveis próximos à superfície. Sua interação com o avanço de um sistema frontal acarreta em dias consecutivos de chuvas (STEINKE, 2012).

As chuvas do sudeste brasileiro são sazonais e ocorrem, predominantemente, no período do verão (DJF – Dezembro/Janeiro/Fevereiro). Tais chuvas se associam aos sistemas frontais (SF), à dinâmica atmosférica regional, além de terem as variações nos padrões de chuvas vinculados à ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), ao processo urbanização acelerada, do uso do solo, bem como dos mecanismos dinâmicos e termodinâmicos (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Entretanto, os SFs que influem no sudeste brasileiro são, por sua vez, associados à convecção, promovendo grandes valores acumulados de chuvas dependendo da velocidade do deslocamento desses sistemas (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2011).

Nesse sentido, o sudeste do Brasil apresenta aspectos sazonais da realidade tropical, como a alternância de um período seco (estiagem) e um período úmido, o que expressa verões chuvosos e invernos com chuvas escassas (NIMER, 1972).

A dinâmica sazonal das chuvas na região se reafirma, ainda, pela ocorrência da ZCAS (período chuvoso), que eleva a possibilidade de chuvas intensas, mesmo que não exclua a ocorrência de extremos de chuvas no período de estiagem e/ou de transição (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; ZANDONADI et al., 2016).

Esses sistemas se inserem sobre uma zona de atuação de massas de ar equatoriais, tropicais e polares, que se associam à diversidade dos tipos de tempo sazonal e anualmente. O período que compreende o verão é o dos máximos de precipitação que migram para o Norte do Equador durante o período do inverno (estiagem) (REBOITA et al., 2010, 2012).

Os estudos climáticos assumem um papel de grande importância junto às relações entre homem e ambiente e, uma vez que essas interações se apresentam com grande complexidade para se compreender em sua totalidade espaço-temporal, os estudos climatológicos e atmosféricos são considerados vitais em sua própria dinâmica e essência física. Para tanto, as variabilidades temporais e associações com outros elementos naturais contribuem para uma melhor compreensão da estrutura do espaço-ambiente, bem como de sua organização funcional (MONTEIRO, 1976).

A análise climática se insere como fator determinante na disponibilidade de alguns recursos naturais, seja nos estudos da paisagem ou nos aspectos socioeconômicos. O comportamento atmosférico, nesse sentido, se considera dinâmico em função de suas variáveis climatológicas ao longo do tempo (mensal, sazonal, anual, etc.), identificando seus padrões (ANDRÉ, 2006).

O dinamismo climático pressupõe a observação das massas de ar, da pressão atmosférica, da temperatura do ar, da umidade relativa, da radiação solar, das chuvas, etc. Sua observação, de maneira integrada, pode favorecer para a compreensão do clima regional, o que não exclui sua análise, individualmente, bem como possíveis implicações urbanas, agrícolas, etc. (SILVEIRA, 2008).

Um dos mecanismos utilizados para a interpretação de dados climatológicos é a análise estatística que, por sua vez, permite avaliar um sistema climático a partir de inúmeras informações (variáveis climáticas) e, dessa forma, permite a observação de pressupostos quanto a mudanças num sistema climático (ZWIERS; VON STORCH, 2004).

As análises de séries históricas, anuais e sazonais das variáveis climáticas, podem ser utilizadas como indicadores de avaliação das mudanças no regime dos climas, tendo em vista a temperatura e a precipitação pluviométrica como principais parâmetros, sendo as mudanças nas variáveis climáticas observadas pela média e valores extremos, bem como na forma de sua distribuição estatística (SANTOS, C.A.C, 2014).

O sudeste brasileiro apresenta uma sucessão de anomalias pluviométricas, como no polígono das secas nordestino e os eventos extremos na porção meridional do país e, que se articulam com sistemas atmosféricos presentes nessa faixa próxima ao trópico de Capricórnio, onde há interações entre sistemas tropicais e extratropicais, podendo considerá-las de grande importância junto à análise na organização e no planejamento do território e do ambiente diante de seu elevado grau de interferência, impacto e repercussão espaço-temporal (SANTA'ANNA NETO et al., 2000).

Tal complexidade se reafirma na obtenção de dados, uma vez que no Brasil o gerenciamento e armazenamento dos dados meteorológicos são imprecisos e podem, até, dificultar a análise das chuvas do país (ZAVATTINI; BOIN, 2013).

A análise climática, atualmente, também se faz por meio de índices climáticos, como em tendências positivas para alguns índices, como no total de chuvas acumulada anualmente ou no número de dias acima de 20mm de chuva, mesmo que haja contradições e expressiva dificuldade em correlacionar os índices e a realidade do sudeste do Brasil (DUFEK; AMBRIZZI, 2008).

Os usos também podem ser vinculados à produção agrícola, uma vez que processos como evapotranspiração e estresse hídrico são expressivos em tal eficiência e produtividade (SANTOS et al., 2012)

Nesse sentido, o déficit hídrico expressa um aspecto negativo quanto à tolerância dos organismos vegetais, afetando sua eficiência produtiva e implicando na gestão adaptativa para a melhoria dos cultivos frente às alterações climáticas. Tal aspecto pode se predizer

com a antecipação por meio dos eventos cíclicos por meio da análise de dados climáticos (BATTISTI et al., 2017)

Além disso, a influência climática se dá, também, na sanidade dos organismos e sua suscetibilidade a doenças. Com isso, estudos da adaptação climática dos cultivares tem caráter estratégico junto aos efeitos do clima, em especial das chuvas (SENTELHAS et al., 2016; VELASCO; PIMENTEL, 2010).

A observação de dias consecutivos secos e úmidos, bem como o máximo acumulado de chuvas em um único dia e em cinco dias são indicativos para análise diária e unificada, também, nas mudanças dos extremos de chuva. Contudo, a interpretação de padrões de mudança na região sudeste da América do Sul, a observação da circulação e da média anual de pressão atmosférica nos oceanos ainda são necessárias (HAYLOCK et al., 2006).

4.2 Chuvas diárias em eventos intensos e extremos

Episódios de chuvas intensas e extremas, que expressam elevados volumes de chuvas em curtos períodos de tempo (horário, diário, etc.), representam um dos elementos mais estudados e dinâmicos em climatologia, uma vez que se associam às enchentes, escorregamentos, perda de safras agrícolas, entre outros impactos junto aos espaços rural e urbano.

Para sua determinação, observam-se diferentes critérios, como valores fixos de extremos de chuvas correspondem a 60 mm em único dia (LIMA; AMORIM, 2015). Entretanto, há dias em que as chuvas estiveram abaixo ou acima desse valor, e que apresentaram danos correlacionados aos eventos (SANCHES et al., 2018). Segundo Oliveira et al. (1998), os valores extremos de chuvas podem ser associados à sua intensidade, conforme determina a OMM (Organização Meteorológica Mundial).

Uma das maneiras de verificar a ocorrência de um episódio de chuva intensa é por meio da frequência de sua distribuição. No sudeste brasileiro, a maior amplitude de frequência de dias chuvosos supera 40% desse valor. Com isso, episódios de chuva intensa podem ser expressos por meio de um valor médio (no mês de sua ocorrência, por exemplo), em

um conjunto de estações, e que supere o 99% quantil (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2011).

Vale ressaltar que episódios extremos e/ou intensos se associam, dentre outros aspectos, aos efeitos socioambientais, sendo que, o número de vítimas fatais, os danos econômicos, os danos à saúde, entre outros impactos, que explicitam a alta vulnerabilidade da população, estão associados a episódios de chuvas intensas ou prolongadas (MENDONÇA; LEITÃO, 2009).

No sudeste brasileiro tais anomalias podem ser verificadas por meio da influência em tendências para o aumento ou diminuição das temperaturas, bem como nas tendências dos volumes de chuvas (KAYANO; CAPISTRANO, 2014; PSCHIEDT; GRIMM, 2009; VÁSQUEZ P. et al., 2018).

As teleconexões, nesse sentido, contribuem para o entendimento da flutuação climática por meio de dados oceânicos do Atlântico e do Pacífico, como a OMA (Oscilação Multidecadal do Atlântico), as fases do El Niño – sua fase positiva (ENSO – El Niño Oscilação Sul; aumento na temperatura do Pacífico) e La Niña – sua fase negativa (resfriamento na temperatura do Pacífico), a ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), por exemplo. No sudeste do Brasil, verificam-se influências em tendências de aumento/diminuição das temperaturas, nas tendências pluviométricas (DRUMOND; AMBRIZZI, 2008; EVANGELISTA et al., 2007; KAYANO; CAPISTRANO, 2014; PSCHIEDT; GRIMM, 2009; VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Outro aspecto significativo para o comportamento pluviométrico regional é a paisagem onde essa se insere, uma vez que, em função da dinâmica atmosférica, o sudeste brasileiro apresenta influência da umidade advinda da Massa de ar tropical Atlântica, o que corrobora para eventos de chuvas em dias consecutivos e secos, bem como nos valores sazonais das chuvas para essa área (ZANDONADI et al., 2016).

Diversas pesquisas analisaram a distribuição temporal das chuvas, bem como suas tendências temporais, como pela tendência de aumento nos volumes pluviométricos que já fora observada no Estado de São Paulo, especialmente para os valores extremos, mesmo sem observar os recentes períodos secos, ou seja, de estiagem prolongada (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; LIEBMANN; JONES; DE CARVALHO, 2001; LIMA;

SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010; SILVA DIAS et al., 2013; TIPPMANN, 2008; ZILLI et al., 2017).

Além disso, o caráter regional contribui para a compreensão das especificidades regionais do clima no Estado de São Paulo. Para tanto, analisar a tendência de aumento/diminuição nas chuvas, o aumento no número de episódios extremos de chuvas (acima de 40 mm), por sua magnitude e frequência, o aumento dos valores diários pluviométricos e as mudanças observadas no último século para as chuvas no sudeste brasileiro foram alguns dos esforços apontados em tais estudos regionais (MARENGO et al., 2010; SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009; ZILLI et al., 2017).

As chuvas apresentam comportamento extremamente dinâmico na região sudeste do Brasil, em que se verificam diferentes mecanismos atmosféricos, como a ZCAS, os Sistemas Frontais (SFs), a influência de anomalias oceânicas de temperatura (Atlântico e Pacífico), em que se observa elevada vulnerabilidade das mudanças nos volumes pluviométricos, especialmente em chuvas intensas e extremas (CAVALCANTI, 2012; HAYLOCK et al., 2006; LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010; MUZA et al., 2009; RAO et al., 2016; SERRA et al., 2014).

Nessa região, notam-se tendências positivas para a intensificação de volumes pluviométricos, em diferentes escalas, em regiões como o Estado de São Paulo, que expressa umas das áreas de grande complexidade nessa determinação (DUFEEK; AMBRIZZI, 2008; SANCHES et al., 2018).

Verificou-se, também, a predominância de eventos extremos, na região, por sistemas frontais, em 53% (LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010), o aumento nos volumes de chuvas em função das anomalias oceânicas e do padrão de urbanização (CAVALCANTI, 2012; KAYANO; ANDREOLI; FERREIRA DE SOUZA, 2013; KAYANO; CAPISTRANO, 2014; ZILLI et al., 2017) e, até, as mudanças no período de início e fim das estações chuvosas (RAO et al., 2016).

Além disso, observam-se diversos apontamentos para mudanças no padrão regional das chuvas, no sudeste brasileiro e, especificamente, no Estado de São Paulo, inclusive seus efeitos urbanos e de relevo. Dentre esses, se sugeriu o aumento nos dias chuvosos com baixo volume pluviométrico, a concentração do volume de chuvas em um menor número

de dias chuvosos no Estado de São Paulo, além de suas mudanças em padrões extremos (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Em função do caráter regional, no interior do Estado de São Paulo, região próxima à área objetivada pelo presente estudo, notam-se apontamentos para alterações nos regimes de chuvas totais, interanuais e extremos, além de ressaltar a influência das anomalias oceânicas nessa área, que reafirmam a necessidade em se observar a evolução temporal e as tendências para as chuvas nessa região do sudeste brasileiro (BLAIN, 2011, 2013; SANCHES et al., 2018; SANTOS et al., 2012).

5 Metodologia

5.1 Área de estudo e Material

A cidade de São Carlos/SP, está localizada no interior do Estado de São Paulo, sob um regime climático alternadamente chuvoso e seco, com verões de temperaturas mais elevadas que o inverno e os maiores volumes pluviométricos acumulados no período do verão, denominado período hidrológico (SANCHES et al., 2018; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

Com isso, notam-se temperaturas elevadas alternadas por temperaturas amenas no período de junho, julho e agosto, com precipitação concentrada nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Segundo a abordagem da climatologia clássica (e separativa), são manifestas duas estações facilmente observáveis; uma úmida e quente que ocorre entre os meses de outubro a março (ano hidrológico, com chuvas mais concentradas no primeiro trimestre) e outra seca e amena com ocorrência entre os meses de abril e setembro.

A área de estudo se coloca em uma região planáltica pertencente à borda das cuestas areníticas da Serra Geral, reafirmando a ação das massas de ar e chuvas orográficas, além dos fenômenos frontogenéticos na dinâmica geográfica regional (TOLENTINO, 2007).

A classificação climática da região de São Carlos/SP apresenta diferentes análises genéticas, e caracterizadas, segundo Tolentino (2007, p. 63-70), pela classificação de Köepen, Thornthwaite e Serebrenick, em:

A) Classificação de Köepen: tipo Cwa.i – Aw.i, que é considerado quente de inverno seco, com transição para clima tropical com verão úmido e inverno seco e com uma amplitude de 5° C entre verão e inverno;

B) Classificação de Thornthwaite: tipo BB'w, que é definido como úmido mesotermal com deficiência de umidade no inverno;

C) Classificação de Serebrenick: tipo TUV°, considerado tropical úmido com verão chuvoso e chuvas abundantes na primavera, sendo provável como transitório para o temperado úmido.

O compartimento geomorfológico da região de estudo apresenta altitudes que variam de 800 a 1000m com trimestre mais chuvoso situado entre os meses de dezembro e fevereiro com uma variabilidade pluviométrica anual situada entre 1.500 e 1.800 mm.

A região se localiza em uma Área de Proteção Ambiental (APA) – Corumbataí – e, portanto, de grande interesse ecológico e paisagista, sendo conhecida pelas atividades ecoturísticas, com atrativos naturais, como a presença do relevo de cuevas basálticas, consideradas de grande fragilidade ambiental, vegetação remanescente preservada, etc. (CORVALAN; GARCIA, 2011).

Os aspectos geomorfológicos das regiões encontram-se dividido em duas morfoestruturas, o Planalto Ocidental, formada numa grande zona de relevo suave compostas por colinas, morros baixos e serras, com uma altitude média aproximadamente de 900m e a Depressão Periférica Paulista apresentando um relevo predominantemente colinoso e suave, além de morros e serras isoladas com níveis de aproximadamente 600m (PINHEIRO; QUEIROZ NETO, 2014; ROSS; MOROZ, 1997).

Foram selecionados os dados diários de 7 postos pluviométricos e estações climatológicas, na série histórica 1979-2017, localizados em diferentes pontos do município de São Carlos/SP, conforme expresso pela **Tabela 1**, que também representa os órgãos responsáveis pela gestão e disponibilização dos dados, bem como os dados faltosos.

Tabela 1. Descrição dos postos pluviométricos e estações climatológicas utilizadas em São Carlos/SP.

Nome (estação)	Órgão Respon-sável	Cidade	Latitude (S)	Longitude(W)	Altitude	Anos	Dados (faltosos)
U. CAPÃO PRETO	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-21 52 12.00	-47 48 0.000	610	1979-2014	0.76% (101 dias)
FAZENDA DA BARRA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-21 53 8.000	-47 47 9.000	610	1979-2017	0.7% (102 dias)
Nome (estação)	Órgão Respon-sável	Cidade	Latitude (S)	Longitude(W)	Altitude	Anos	Dados (faltosos)
FAZENDA AGUA BRANCA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-22 4 3.000	-48 2 46.000	598	1979-2017	1.83% (261 dias)
FAZENDA SANTA BÁRBARA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-22 6 0.000	-47 58 48.000	780	1979-2017	1.53% (218 dias)
SANTA EUDOXIA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-21 46 48.00	-47 46 48.000	620	1979-2017	1.17% (167 dias)
INMET (UFSCar)	INMET	SÃO CARLOS	-21 57 37.72	-47 51 37.650	856	1979-2017	4.5% (651 dias)
RIBEIRÃO DO FEIJÃO	ANA	SÃO CARLOS	-22 9 0.000	-47 53 24.000	676	1979-2016	4.4% (628 dias)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados pluviométricos de entrada são diários e, em função das falhas em alguns anos, as lacunas foram descartadas para a realização dos cálculos. Contudo, as falhas dos dados não comprometeram os cálculos de tendências e, por serem dados diários, não se utilizaram técnicas de preenchimentos desses.

Nesse estudo, não se objetivou por realizar diferentes técnicas de preenchimento de dados, optando-se por não calcular as lacunas dos períodos. Vale ressaltar, que os dados faltosos encontraram-se abaixo de 5%, o que implica em, ao menos, 95% de confiança nos dados pluviométricos analisados.

A Figura 1 expressa a localização de São Carlos/SP, a localização dos postos pluviométricos e estações climatológicas utilizadas.

Figura 1. Localização dos postos pluviométricos em São Carlos/SP.

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010).

Para a elaboração dos mapas, foi utilizado um SIG (Sistema de Informação Geográfica). Nesse, a confecção dos mapas se deu por meio do método inverso do quadrado da distância (IDW – *Inverse Distance Weighting*) ou ponderação do inverso das distâncias (FILHO et al., 2019).

Os usos dos SIGs estabelecem duas principais categorias de interpolação de dados: globais e locais, com superfícies de tendência e polinômios de baixa ordem, respectivamente, por exemplo (FILHO et al., 2019; JAKOB, 2003; LANDIM, 2007).

A interpolação dos dados, por sua vez, expressa a técnica de estimativa de um determinado valor, para um determinado local (espacialmente) não amostrado, e construído de pontos, para espaços contínuos (FILHO et al., 2019; JAKOB, 2003; LANDIM, 2007).

5.2 Métodos

5.2.1 RClimdex e Índices Climáticos

A observação temporal das chuvas é de grande interesse, contudo, notam-se diferentes técnicas para observação espacial e temporal dessas. Para tanto, tendências por meio de observações em estações pluviométricas compreendem a principal forma para seu entendimento e suas vinculações, como em frequência, picos de variância, significância, entre outros aspectos estatísticos.

Atualmente, destacam-se as observações de índices climáticos para observação dos dados pluviométricos, como o *script* RClimdex (HAYLOCK et al., 2006; SANCHES et al., 2018; SANTOS, 2014; SANTOS; RAMOS, 2018; STEPHENSON et al., 2014; ZHANG; YANG, 2004), que ressalta a análise de diferentes índices para temperatura e, no caso da presente tese, para pluviometria.

O *script* foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Center (NCDC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), cujo uso é apresentado em diversos workshops e reuniões do CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre elementos climáticos e sua variabilidade desde 2001 (HAYLOCK et al., 2006; SANTOS et al., 2012).

Os índices são calculados junto ao software R, que é um ambiente e uma linguagem para computação estatística e gráfica, sendo esse um *software* livre (Projeto GNU) similar à

linguagem e ao ambiente S, desenvolvido nos laboratórios Bell (antigo AT & T, agora Lucent Technologies).

O R apresenta diversas modelagens lineares e não lineares, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, clustering, entre outras técnicas estatísticas e gráficas, além de fornecer uma rota *open source* para participação nessa atividade.

Diversos trabalhos utilizaram a ferramenta a fim de analisar a evolução temporal e espacial dos climas em diferentes regiões do Brasil e de outros países (DRUMOND; AMBRIZZI, 2008; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; MEKIS; VINCENT, 2011; SANTOS et al., 2012; SANTOS; RAMOS, 2018; STEPHENSON et al., 2014).

O RClimdex calcula 27 índices básicos recomendados pela ETCCDMI (Climate Change Detection Monitoring Indices) para temperatura e precipitação (KARL; NICHOLLS; GHAZI, 1999; PETERSON, et al., 2001), dos quais foram utilizados, apenas, os índices associados à precipitação pluviométrica, conforme descrito na tabela 2 (HAYLOCK et al., 2006; SANCHES, 2015; SANTOS et al., 2012; STEPHENSON et al., 2014; ZHANG; YANG, 2004).

O controle de qualidade dos dados se fez pela substituição de todos os dados faltosos por -99.9 (reconhecido como faltoso pelo script). Notaram-se algumas falhas de dados, sendo mais crítico no ano de 1994, em que excederam 5%.

Os resultados dos índices calculados geram um arquivo de texto sem formatação, que foram organizados, separadamente, em planilhas individuais para cada índice, sendo que a entrada dos dados é feita (SANCHES, 2015; SANTOS et al., 2012):

- A. com a elaboração de um arquivo de texto ASCII, ou seja, sem formatação e de visualização em diferentes editores de texto;
- B. pela formatação de colunas sequenciais a partir do ano, mês, dia e precipitação (com unidades em milímetros) respectivamente;

C. com a delimitação descrita acima realizada por espaços entre os elementos;

D. inserindo os registros dos dados faltosos codificados como -99.9 e organizados em ordem cronológica (ZHANG; YANG, 2004).

Sendo assim, o formato de entrada de dados no *script* RClimdex é dada:

1972	1	1	15.5
1972	1	2	0
1972	1	3	-99.9

O formato de leitura é dado para cada linha, sendo, portanto, no dia primeiro de janeiro de 1972, a precipitação foi de 15.5 mm (primeira linha), no dia dois de janeiro de 1972 não houve precipitação registrada (segunda linha) e que no dia três de janeiro de 1972 não houve registro dos dados de precipitação, sendo substituído por -99.9 quando inexistente (terceira linha) (SANCHES, 2015).

Tabela 2. Metodologias Utilizadas para Análise dos Dados de Precipitação.

Índice (Identificação)	Nome do índice	Definição	Unidade Observada
PRCPTOT	Total de chuvas acumuladas em um ano	Valor total anual de chuvas acumuladas nos dias úmidos (dias $\geq$ 1 mm)	mm
RX1day	Máximo de chuva acumulado em 1 dia	Máximo de chuva acumulada em um único dia	mm
RX 5 dias	Máximo de chuva acumulada em 5 dias	Máximo de chuva acumulada em cinco dias consecutivos	mm

CDD	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias em que as chuvas < 1 mm	dias
CWD	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias em que as chuvas ≥ 1 mm	dias
SDII	Índice simples de intensidade diária	Total anual de chuvas acumulado dividido pelo número de dias úmidos (quando o dia esteve ≥ 1.0 mm) no ano	mm/dia
Rnn*	Dias chuvosos acima de nn milímetros	Número de dias acima de nn milímetros de chuva	Dias/Ano
<p>*Admite-se R_{ij} como a quantidade diária de precipitação num dia i num período j. Assim, nn^* representa qualquer valor razoável de precipitação diária, onde soma-se o número de dias, sendo:</p> $R_{ij} \geq nnmm$			

Fonte: Adaptado de Zhang e Yang (2004).

O cálculo dos índices para os dados pluviométricos refere-se às chuvas totais (PRCPTOT), à intensidade pluviométrica simples (SDII), ao valor máximo acumulado em um único dia de chuva (RX1 dia), ao valor máximo acumulado em 5 dias consecutivos de chuva (RX5 dias), ao número máximo de dias consecutivos secos (CDD), ao número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) e ao número de dias acima de valores pré-estabelecidos a partir da detecção de *outliers* (Rnnn).

Os dados gerados pelo cálculo dos índices são condensados mensalmente (RX1 dia e 5 dias) e anualmente (PRCPTOT, SDII, CDD, CWD, Rnn), além da resposta em mm de chuva ou número de dias (CDD, CWD, Rnn).

O índice Rnn , que representa o número de dias acima de um valor determinado pelo usuário, se destaca pela possibilidade de ajuste nos valores-base, ou seja, pode-se atribuir um valor base ou referencial para o que se considera como extremo junto aos valores de chuvas.

Para tanto, sua determinação foi feita por meio:

- Dos episódios de “chuva normal”, ou seja, valores que são comuns em relação a média diária pluviométrica entre as estações;

-Da detecção de *outliers* (observações anormais na série histórica), que correspondem aos valores considerados anômalos na série histórica e que, para o presente estudo, corresponde a um método de observação desses valores em séries longas de dados para a determinação de valores de chuva intensa e extrema de chuvas.

Sendo assim, a determinação do valor de *nn* de chuvas com comportamento anômalo foi realizada por meio dos *outliers* que, por sua vez, representam um fato que desvia tanto de outros fatos a ponto de gerar suspeitas de que foi gerado por um mecanismo diferente, ou seja, configuram valores incomuns ou excepcionais encontrados na série de dados (HAWKINS, 1980).

Segundo Chrun, Cukier e Sneeringer (2008), a determinação do *outlier* pode ser entendida por uma avaliação, que, nesse sentido, consiste no estudo da evolução e da identificação de comportamentos excepcionais nas séries de dados. Sendo, um *outlier* uma manifestação de tal comportamento excepcional é comum identificá-lo a partir da média e utilizar (+/-) três ou quatro desvios padrão por limite.

Essas observações consistem em comportamentos incomuns em uma dada série de dados com base nos valores médios, desvio padrão e algum valor limiar definido pelo usuário (Chrun et al. 2008; Sanches et al. 2018). A equação 1 descreve uma maneira simples de detectar observações anormais em uma série de dados. Diz-se que $x_i(t)$ expressa um outlier de ordem t se:

$$\{x_i: x_i > \bar{x} + t * \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}\}$$

Equação 1. Detecção de *outliers* (observações anormais).

onde x_i representa o volume de chuva (mm) em um dia i , n expressa o número de dias, e $\bar{x}$, indica a média aritmética dos valores do conjunto. A constante t representa o limiar definido pelo usuário, podendo assumir os seguintes valores: 3, para a identificação de chuvas intensas e 4 para chuvas extremas (SANCHES et al., 2018).

A determinação de tais valores de chuvas intensas e extremas pressupõem a identificação de observações anormais ou *outliers* na série de dados (SANCHES et al., 2018).

Todos os dados calculados e gerados pelo *script* se encontram no Apêndice desta tese.

5.2.2 Teste de tendências – Teste de Laplace

A observação temporal da precipitação é de interesse substancial, embora diferentes técnicas sejam empregadas para análises espaciais e temporais. Assim, a observação de tendências em estações pluviométricas compreende a principal forma de compreensão e aplicabilidade, como frequência, picos de variância e significância, entre outros aspectos estatísticos.

A análise das tendências de precipitação, na pluviometria, permite compreender mais facilmente dados heterogêneos e informações de grandes bancos de dados (*big data*). As técnicas aplicadas para a observação dessas tendências visam analisar significância estatística e correlações utilizando testes não paramétricos, incluindo os testes de correlação linear de Mann-Kendall, Kendall e Pearson (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; ESPINOZA et al., 2019; HAYLOCK et al., 2006; SANTOS et al., 2012; SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009), ou testes paramétricos, como os testes *Chi-Square*, Kolmogorov-Smirnov e *Wavelets*, bem como os *Student's t tests* (BLAIN, 2013; RAO et al., 2016).

Em relação às metodologias mencionadas, vale ressaltar a importância de se observar as tendências temporais e espaciais da precipitação utilizando índices climáticos, em seu volume e valores diários acumulados (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006). Tais análises podem ser realizadas correlacionando as chuvas e anomalias oceânicas (HAYLOCK et al., 2006; SANTOS et al., 2012; SUGAHARA; ROCHA;

SILVEIRA, 2009; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017) e, também, por interpolação de dados espaciais (dos satélites e da superfície) (RAO et al., 2016).

Nesse sentido, o método conhecido como '*Laplace Test*' (*Laplace trend factor*), aplicado para observar as tendências dos valores de precipitação anuais na área estudada, permite identificar uma tendência em um conjunto de dados baseado em um valor $u(t)$, considerando um dado período $[0, t]$, que é definido pela seguinte Equação 2 (KANOUN; MARTINI; SOUZA, 1991):

$$u(t) = \frac{\frac{\sum_{i=1}^t ((i-1)n_i)}{N(t)} - \frac{(t-1)}{2}}{\sqrt{\frac{t^2-1}{12(N(t))}}}$$

Equação 2. *Laplace trend factor* (Teste de tendência de Laplace).

onde t representa o número de dias (ou outra unidade de tempo), n_i é a variável analisada no tempo i (valor da precipitação diária nas estações pluviométricas), e $N(t)$ indica o número cumulativo em relação à variável analisada (quantidade de chuva acumulado até o t -ésimo dia).

A interpretação prática do Teste de Laplace é realizada em dois níveis (CHRUN, 2011; CHRUN; CUKIER, SNEERINGER 2008):

- Globalmente: quando os valores do coeficiente de Laplace são maiores que +2 ou -2. Se os valores forem positivos (negativos), um aumento global (diminuição) ocorre na variável analisada. Valores entre -2 e +2 indicam estabilidade;

- Localmente: valores que aumentam (diminuem) indicam um aumento (diminuição) local da variável analisada.

Anterior a qualquer distribuição estatística a um conjunto de dados aplica-se, previamente, a tendência dos dados sob o ponto de vista do processo estocástico. A análise de tendência expressa um processo de inferência estatística, baseado na metodologia dos testes de hipóteses, a cuja utilização se recorre sempre que se queira verificar se os dados amostrais são ou não compatíveis com determinadas populações (MARTINS; LEITÃO, 2003; SILVA NETO, 2014).

Utilização dos intervalos de confiança – distribuição normal

Em um determinado campo amostral, ao estimar a média amostral, é comum usar o intervalo de confiança com um nível de significância (1%, 5%, 10%) ou o *p-value* e compará-lo com o nível de significância, rejeitando-se ou não a hipótese nula (BELARDINELLI et al., 1999; NEWCOMBE, 1998; OKOLI; ONYEAGU; OSUJI, 2015; SILVA NETO, 2014).

Em um intervalo de confiança com nível de significância de $X\%$, o intervalo $[a,b]$ é fornecido, mas o cálculo depende de muitas hipóteses sobre os dados.

No caso da distribuição de Laplace, não foram encontrados resultados análogos aos resultados de uma distribuição normal padrão (distribuição normal de Gauss). Além disso, nenhuma transformação padrão é capaz de reduzir qualquer distribuição de Laplace a uma distribuição padrão. Contudo, a técnica de dedução do intervalo de confiança é similar e, com isso, foi utilizado um resultado análogo ao da distribuição normal para o teste de Laplace.

Observa-se, ainda, que foram apresentadas as estimativas dos parâmetros e, em seguida, os cálculos. No caso de *Distribuição Normal* padrão junto à obtenção do intervalo de confiança, para um nível de significância bilateral de 5%, 95% dos dados estão entre

[média -1.96 desvios, média +1.96 desvios] (BELARDINELLI et al., 1999; NEWCOMBE, 1998; OKOLI; ONYEAGU; OSUJI, 2015; SILVA NETO, 2014).

Ao considerar 2 desvios, o valor é um pouco superior a 95,44% (97,72499% da área). Conclui-se, portanto, que foi feita uma aproximação do intervalo entre usando $[-1,96$ e $+1,96]$ para $[-2$ e $2]$, ou seja, o teste foi feito usando o intervalo $[-2,2]$ como critério de decisão análogo à distribuição normal, conforme observado na Figura 2.

Figura 2. Distribuição de Laplace: chamado de teste combinado de Laplace que é aproximadamente uma distribuição normal padrão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para tanto, o teste consiste em examinar os valores de tendência dos dados pluviométricos em um determinado período e identificar as tendências de aumento ou diminuição da precipitação global ao longo desse período e, quando apropriado, analisar as tendências localmente. O teste de Laplace é comumente utilizado na literatura para identificar tendências em diferentes situações, tais como: falhas de software de modelagem (SUKHWANI et al., 2016; YANG, 2018), identificando tendências em vulnerabilidades de segurança computacional (MIANI et al., 2015), e realizando análise de confiabilidade em projetos de engenharia (AL-CHALABI et al., 2016; CHRUN, 2011).

O cálculo das tendências foi feito por meio de planilhas e da equação (com formatações condicionais) junto ao *software* Excel e, feito isso, foram construídos gráficos de séries temporais para cada estação, com seus respectivos valores globais e locais, bem como os valores referenciais (+2 e -2), por meio do *software* Minitab.

A Figura 2 ilustra a aplicação do fator de tendência de Laplace em um conjunto de dados de 52 semanas. Valores dentro dos intervalos +2 e -2 representam a estabilidade global, enquanto valores fora desse intervalo estão relacionados a uma tendência (aumento ou diminuição). Por exemplo, examinando a Figura 2, pode-se notar que houve uma estabilidade entre as semanas 1 e 22. Depois disso, uma tendência de declínio global foi observada.

Figura 3. Laplace trend factor.

Fonte: Adaptado de MIANI et al. (2015).

6 Resultados

A organização da tese em seções expressou a bibliografia básica acerca da temática em climatologia, da área de estudo e das respectivas metodologias utilizadas no estudo. Para tanto, os resultados obtidos por meio do cálculo dos índices pluviométricos e dos testes de tendências foram utilizados em diferentes trabalhos já publicados no decorrer do processo de doutoramento ou, ainda se encontram em análise juntos às revistas selecionadas (pós-submissão).

Diante disso, buscou-se organizar os resultados da seguinte forma:

- I. Descrição das estatísticas básicas calculadas para as estações;
- II. Resultados obtidos pelo RClimdex em sua totalidade, ou seja, com todos os índices calculados, aqui representados em gráficos, histogramas e mapas, com suas respectivas análises descritivas;
- III. Resultados publicados (ou submetidos) em artigos em revistas científicas nacionais e internacionais, por meio do *script* RClimdex, com suas respectivas análises e considerações.
- IV. Resultados publicados (ou submetidos) em artigos nacionais e internacionais, por meio do teste de tendência de Laplace (*Laplace trend factor*), com suas respectivas análises e considerações.

6.1 Resultados das estatísticas básicas nas estações

O cálculo das estatísticas básicas dos valores de chuvas diárias para a região evidenciou significativa flutuação interanual, contudo, pode-se observar que tais flutuações estiveram mais acentuadas nos anos iniciais da série histórica adotada.

Observou-se que, a partir da década de 1990, o comportamento das chuvas entre os postos pluviométricos aprofundou os aspectos locais, ou seja, notou-se que, até este período, os postos apresentavam comportamento semelhante, quantitativamente. Entretanto, as disparidades entre os postos se acentuaram desde então.

Vale ressaltar, que, a partir de 1987, as chuvas começaram a apresentar certa redução em seus respectivos valores e, a partir da década de 1990, a maioria dos postos já apresentavam tal redução para os volumes pluviométricos, se intensificando a partir de 1994.

O período de 1979-1984 se mostrou com as mais significativas flutuações, bem como para o aumento exponencial das chuvas, além de sua mudança abrupta para tendente à diminuição. Tal período representou, com isso, grande variabilidade no volume das chuvas e, no ano de 1983, notou-se o maior valor observados interanualmente.

Dentre as principais justificativas para tal variabilidade, destacam-se as influências oceânicas por meio das teleconexões, em que as chuvas se mostraram com grande variabilidade interanual, que coincide com fases positivas e negativas (aquecimento e resfriamento, respectivamente) nos oceanos, especialmente, o Pacífico pela Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a Oscilação Sudeste do Pacífico (ENSO) – *El Niño e La Niña*, respectivamente (VÁSQUEZ P. et al., 2018).

No período de 1982-1983, notaram-se os maiores valores de tendência positiva (aumento) para a série histórica (e entres os postos pluviométricos), sendo um período em que as chuvas se intensificaram no sudeste do Brasil e, coincidente com o *El Niño*, fase positiva do ENSO, em função do aumento da temperatura de superfície do mesmo (VÁSQUEZ P. et al., 2018)

Nota-se também, que no período 1979-1981 e 1984-1985, as chuvas apresentaram certa redução, o que coincide com o período de tendência negativa para o fenômeno *La Niña*, fase negativa do Pacífico, pela queda da temperatura superficial desse Oceano (VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

As tendências negativas tornaram-se expressivas a partir da década de 1990, sendo que apenas os postos pluviométricos Ribeirão Feijão e Fazenda Água Branca se mantiveram com tendência positiva e, a partir dos anos 2000, apenas o posto Ribeirão Feijão se mostrou com tendência normal ou positiva, aspectos esses reafirmados pelo teste de tendência.

O período 2014-2015, entretanto, se mostrou o mais expressivo quanto a tendência de redução em função das características atmosféricas regionais do contexto. Esse período se mostrou com uma estiagem prolongada e classificado como “seco”, o que contribuiu com impactos hidrológicos na região (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

Em tal período, a diminuição nas tendências pluviométricas também se associou às teleconexões, uma vez que, apesar da fase de neutralidade do Pacífico, a ODP se encontrava em mudança de fase (negativo para positivo), o que contribuiu para a redução dos volumes de chuvas. Em tempo, ainda se observam tendências de redução para os valores globais das chuvas na região de São Carlos/SP.

A Tabela 3 e a Figura 4 expressam algumas das estatísticas básicas observadas nos dados diários de chuvas na região de São Carlos/SP no período de 1979-2017, onde notam-se chuvas próximas a 10mm, em média, entre as estações.

Além disso, os episódios de chuvas intensas são pouco frequentes e encontram-se concentrados em valores limiares a partir de 30mm, diariamente.

Tabela 3. Estatísticas básicas das chuvas diárias nas estações, 1979-2017.

Estações	Nº dias chuvosos	Média	Desv.Pad	Variância	Coef. Variação	Acumulado	Q3
Sta.Eudoxia	3634	10.046	8.974	80.538	89.33	36507.800	15.700
Sta.Bárbara	2726	12.707	9.380	87.990	73.82	34640.300	19.500
Água Branca	3407	9.807	9.292	86.348	94.75	33412.300	15.400
Faz.Barra	3490	9.970	9.017	81.301	90.44	34794.000	15.600
Rib.Feijão	4221	8.691	8.951	80.114	102.99	36683.600	13.500
U.Capão	3250	9.837	9.042	81.759	91.92	31968.900	15.500
INMET/UFS Car	4071	8.961	9.011	81.191	100.56	36478.800	13.700

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4. Histograma e estatísticas básicas das chuvas diárias nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As chuvas apresentam comportamento heterogêneo que, a partir de sua análise é possível verificar significativas flutuações entre períodos e entre os anos. Tal heterogeneidade

pode ser verificada em seus valores individuais, cujo valor médio é de 10mm (diariamente).

6.2 Resultados dos índices calculados pelo *script* RClimdex na área de estudo

Nesta seção, constam todos os resultados obtidos a partir do cálculo dos índices pluviométricos junto ao RClimdex. Para tanto, foram elaborados gráficos e histogramas com a evolução quantitativa das chuvas na região.

Os valores mínimo, máximo e médio de cada índice expressam o menor, o maior e o valor médio de cada índice para cada uma das estações analisadas. Vale ressaltar, que a falta de mais de 5% dos dados exclui o valor final dos índices, sendo que, a falta de mais de 5% de dias exclui o mês e a falta de 5% dos dados anuais, exclui o ano, o que acarretou em algumas falhas em alguns anos, e em algumas estações.

6.2.1 PRCPTOT – Precipitação total acumulada

Os valores calculados por esse índice expressam o acumulado anual em cada estação climatológica ou posto pluviométrico. Nesse, admite-se como dia chuvoso, aquele que esteve acima de 1mm, somando-se os valores diários no intervalo de 1 ano e apresentando sua evolução temporal.

A Figura 5 expressa o índice PRCPTOT nas estações. Ressalta-se que algumas estações, conforme destacado anteriormente, não possuem a série de dados completa, mas foram elaboradas figuras individualmente para inseri-las.

Figura 5. Gráfico dos valores de PRCPTOT (acumulado), anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que em todas estações, destacam-se os anos de 1983, 1984 e 2014, que expressam valores muito acima da média e abaixo desta, respectivamente.

Neste sentido, a dinâmica atmosférica e a correlação com fenômenos da meso e da macroescala se destacam, como a variação de temperatura oceânica (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; VÁSQUEZ P. et al., 2018) ou com aspectos como os SFs e a ZCAS, além de outras interfaces da interação Oceano-Atmosfera-Continente (BARREIRO; TIPPMANN, 2008; DRUMOND; AMBRIZZI, 2008; ZILLI et al., 2017), que também será reafirmado, conforme os resultados que seguem.

O comportamento do índice de PRCPTOT também foi sistematizado por meio da Figura 6 bem como de um histograma e de um ajuste de distribuição normal interanual.

Figura 6. Gráfico de histograma da PRCPTOT, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se, ainda, que a média de chuvas acumuladas anualmente foi de 1509mm, reafirmando seu comportamento junto à Bacia do Paraná (SANCHES, 2015; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017; ZANDONADI et al., 2016). A figura 7 expressa a espacialização do índice PRCPTOT entre as estações.

Figura 7. PRCPTOT –Máximo, média e mínimo dos valores da precipitação anual acumulada nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.2 CDD – Dias consecutivos secos

Este índice expressa o valor máximo acumulado em um único (e hipotético) dia, anualmente, entre as estações. O cálculo desse evidencia o maior período de estiagem no ano e interanualmente. Por este, pode-se verificar a alternância verão-inverno na região, marcado pelo período chuvoso e de estiagem, respectivamente. A Figura 8 expressa o comportamento do índice CDD.

Além disso, as estiagens prolongadas tem efeitos problemáticos junto à produção agrícola, abastecimento urbano (crise hídrica), etc. (SANTOS; SANCHES; SANTOS, 2018; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

Figura 8. Gráfico dos valores de CDD, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das visíveis flutuações, verificou-se o aumento dos valores desse índice, ao longo da série de dados, para algumas estações, como a Sta. Eudoxia, Sta. Bárbara e Faz. da Barra, o que expressa o aumento de longos períodos de estiagem prolongada nestas estações.

A análise deste índice, entretanto, não é conclusiva, uma vez que se considera apenas o valor máximo dos dias consecutivos secos, o que não permite verificar quantos eventos de estiagem ocorrem anualmente e se esses eventos vêm se tornando mais frequentes ou menos frequentes.

A fim de verificar sua distribuição de valores acumulados nas séries históricas, utilizou-se a Figura 9, para visualização de tal comportamento.

Figura 9. Gráfico de histograma da CDD (dias consecutivos secos), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se, também, que o valor médio (e máximo) de 48 dias consecutivos sem chuva, expressa um longo período de estiagem que excede um mês. Dado o comportamento anual das chuvas, tal período se associa aos meses de junho, julho e agosto. Entretanto, a evolução positiva destes valores podem implicar em danos severos junto ao planejamento agrícola, como exemplo (BLAIN, 2011; SILVA; PRELA-PANTANO; SANT'ANNA NETO, 2008).

A Figura 10 expressa a distribuição espacial dos valores máximo e mínimo de dias consecutivos secos entre as estações observadas.

Figura 10. CDD – Máximo e mínimo dos valores dos dias consecutivos secos nas estações

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.3 CWD – Dias consecutivos úmidos (chuvosos)

Este índice expressa o valor máximo de dias consecutivos chuvosos, anualmente. O cálculo deste índice, entretanto, não apresenta em qual mês (ou meses) tais eventos prolongados de chuva ocorreram.

O índice de dias consecutivos chuvosos permite observar eventos como ZCAS e os SFs, seja por meio de sua ocorrência ou correlação com eventos prolongados de chuvas recorrentes na região (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2011; ZILLI et al., 2017). A Figura 11 expressa o índice CWD entre as estações.

Figura 11. Gráfico dos valores de CWD, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Evidentemente, observa-se que o valor médio de 8 dias, aproximadamente, de dias consecutivos chuvosos expressa tais eventos de ZCAS e SFs. Vale ressaltar que na década de 1990 notaram-se extremos de valores de chuvas consecutivas, ainda que o ano de 1983 expressa o mais chuvoso (acumulado) entre os anos (HAYLOCK et al., 2006; VÁSQUEZ P. et al., 2018).

A distribuição normal dos dados também se mostrou interessante, conforme observado na Figura 12, onde se observam valores limiares entre 8 e 9 dias consecutivos de chuvas, reafirmando os eventos de ZCAS e SFs citados acima. Além disso, esses episódios de chuvas consecutivas ocorrem em todas as estações, em mais de 85% dos anos analisados.

Figura 12. Gráfico de histograma da CWD (dias consecutivos chuvosos), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notam-se, ainda, valores extremos na frequência dos dados, como no caso da estação Sta. Bárbara. Entretanto, as recorrências desses fatores, além de comum, podem sofrer alternância entre períodos (meses) em que ocorrem.

Tal variabilidade, no entanto, não pode ser verificada nesse índice, o que dificulta o entendimento de uma possível concentração ou dispersão anual. Além disso, não é possível verificar o número de eventos de dias consecutivos chuvosos, a fim de detectar se ocorrem mais ou menos eventos de chuvas prolongadas ao longo do tempo.

A fim de analisar as diferenças entre as estações, a Figura 13 expressa os valores máximo médio e mínimo dos dias chuvosos consecutivos entre as estações.

Figura 13. CWD –Máximo, média e mínimo dos valores dos dias consecutivos úmidos nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.4 SDII – Índice de intensidade simples de chuva diária

O índice SDII expressa o valor simples de intensidade diária das chuvas, anualmente. O cálculo desse índice se dá pela divisão do valor acumulado de chuvas diárias em um ano e pelo número de dias chuvosos (acima de 1mm).

Por meio desse índice pode-se verificar o comportamento anual da intensidade das chuvas, valor esse obtido a partir da divisão do total diário de chuva acumulada (mm), dividido pelo número de dias chuvosos (acima de 1mm).

A resposta do índice SDII é anual, o que contribui para compreender o valor mínimo esperado de chuvas diárias (mm), anualmente, nas estações (bases de dados).

A Figura 14 expressa o índice SDII e seu valor médio entre as estações.

Figura 14. Gráfico dos valores de SDII, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que o valor médio de intensidade pluviométrica entre as estações foi de 16,3mm, ou seja, quando ocorrem eventos de chuva, a média para a região, diariamente, foi de 16mm, aproximadamente. Ressalta-se, ainda, que em nenhuma das estações esse valor se encontrou abaixo de 11mm, significando que em dias chuvosos, espera-se, ao menos 11mm de chuva em 24 horas.

Tal argumento parametriza a dinâmica urbana e rural, uma vez que tais eventos se concentram no período do verão (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017; SANTOS et al., 2012), mesmo que esse valor não seja considerado intenso ou extremo.

Tais valores de chuvas intensas serão apresentados nas seções que seguem. Entretanto, a distribuição normal da intensidade pluviométrica pode ser verificada na Figura 15.

Figura 15. Gráfico de histograma do SDII (intensidade pluviométrica), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se que, além do valor médio de 15mm, a frequência destes eventos tem destaque para as estações Sta. Eudoxia e INMET e, mesmo que eventos a partir de 20mm

sejam recorrentes, a partir deste valor, não se observam muitos eventos chuva com volume mais intenso.

Em tempo, ressalta-se a importância desse índice, mesmo que não apresente em que meses tais eventos são mais frequentes ou em que períodos podem ser mais recorrentes. A Figura 16 expressa a intensidade simples dos dias chuvosos entre as estações observadas.

Figura 16. SDII – Máximo, média e mínimo do máximo da intensidade pluviométrica diária nas estações

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.5 RX1 dia

O índice RX1 dia expressa o valor máximo de chuva acumulada em um único dia. Esse índice se destaca por representar a chuva diária nos meses e anos da série de dados adotada.

O cálculo deste índice determina o volume de chuva diária mais intensa em cada mês de cada ano. Entretanto, dada a ocorrência dessas se concentrarem nos meses de maior valor pluviométrico acumulado, considerou-se o maior valor anual para cada ano, em cada estação analisada.

A Figura 17 expressa o valor máximo anual do índice RX1 dia para as estações.

Figura 17. Gráfico dos valores de RX1 dia, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante da ocorrência de tais eventos no período de verão (SANCHES, 2015; SANTOS et al., 2012), nota-se que em todos os verões observados na série histórica, espera-se um dia chuvoso de, no mínimo, 50mm.

Com isso, verifica-se que os eventos de chuvas intensas e extremas, comumente associados à episódios acima deste valor (LIMA; AMORIM, 2015; SANCHES, 2015; SANCHES et al., 2018; SANTOS et al., 2012), além de recorrentes, afetam diretamente a dinâmica urbana e rural, associando-as à eventos catastróficos.

Observa-se, ainda, a ocorrência de eventos acima de 150mm, o que evidencia chuvas extremas para quaisquer regiões do sudeste brasileiro. Tais eventos podem ter efeitos ainda mais impactantes, como observado em diversos estudos (ABREU; SOBRINHA; BRANDÃO, 2017; SILVA DIAS et al., 2013; SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009; ZILLI et al., 2017).

Além de sua organização gráfica, a Figura 18 expressa a distribuição normal dos valores do índice RX1 dia.

Figura 18. Gráfico de histograma do RX1 dia (máximo acumulado em 1 dia), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do índice permite observar que a média nesses eventos diários foi de 86mm, aproximadamente, entre as estações. Tais valores reafirmam a observação anterior quanto aos eventos de chuva extrema.

Com isso, verifica-se que as estações apresentaram comportamento semelhante na distribuição dos valores de RX1 dia, com inúmeros eventos chuvosos entre 60 e 100mm de chuvas, anualmente.

Diante da heterogeneidade dos valores individuais de RX 1 dia entre as estações, a Figura 19 expressa a distribuição espacial dos valores máximos acumulados em um único dia observados em São Carlos/SP.

Figura 19. RX1 dia – Máximo, média e mínimo do máximo acumulado de chuvas (mm), em um único dia, nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.6 RX5 dias

O índice RX5 dias expressa o valor máximo acumulado em 5 dias consecutivos chuvosos, mensal e anualmente.

A partir deste índice, é possível verificar o acumulado mais frequente de chuvas no sudeste brasileiro por meio dos eventos de ZCAS e SFs. Tal relação se dá pela duração desses eventos de chuva prolongada, típicas do período de verão na América do Sul (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; LIEBMANN et al., 1999; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

A Figura 20 expressa a evolução temporal do índice RX5 dias nas estações.

Figura 20. Gráfico dos valores de RX5 dias, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A observação deste índice de reafirma a partir da recorrência de tais eventos que, em média, apresentam 162,6mm, quando ocorrem. A partir daí, torna-se possível compreender que em 5 dias consecutivos de chuva na região as chuvas tendem a se acumular até 160mm.

Vale ressaltar, ainda, que em nenhuma das estações analisadas esses eventos apresentaram menos de 100mm, ou seja, além de recorrentes anualmente, se espera, ao menos, um período com mais de 100mm de chuva num intervalo de 5 dias consecutivos de chuvas no verão.

A Figura 21 expressa a frequência desses valores e sua distribuição normal, em 5 dias consecutivos de chuvas.

Figura 21. Gráfico de histograma do RX5 dias (máximo acumulado em 5 dias consecutivos de chuvas), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, por meio da Figura 20, que a frequência nos dados é semelhante entre as estações. Com isso, também pode-se compreender que há mais linearidade entre as estações pelos valores de 5 dias consecutivos de chuvas do que pelo RX1 dia.

Tal aspecto, entretanto, apenas reafirma o caráter regional das chuvas na região, uma vez que essas são regidas por mecanismos atmosféricos semelhantes, apresentando um caráter regional mais abrangente, ou seja, ocorrendo em todas as estações.

Além disso, diante dos valores distintos entre as estações, a Figura 22 expressa a distribuição espacial dos valores máximos acumulados em cinco dias consecutivos de chuva, com o valor máximo, médio e mínimo entre as estações observadas.

Figura 22. RX5 dias – Máximo, média e mínimo do máximo acumulado de chuvas (mm), em cinco dias consecutivos, nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.7 R_{nn} – Número de dias acima de nn^* (mm) de chuva

Este índice expressa o número de dias acima de um valor previamente determinado (entrada de dados) junto ao *script*, ou seja, pode-se determinar quaisquer valores (em milímetros de chuva) e a resposta será o número de dias, anualmente, em que as chuvas se encontraram acima deste. Neste sentido, observa-se a evolução temporal (anual) do número de dias acima de nn milímetros.

Para o presente estudo, foram determinados os seguintes valores: R10mm (número de dias acima de 10mm de chuva); R20mm (número de dias acima de 20mm de chuva); R36mm (número de dias acima de 36mm de chuva); e R46mm (número de dias acima de 46mm de chuva).

Ressalta-se, ainda, que os valores encontrados para o R10 e R20mm, expressam o comportamento normal e médio nos volumes pluviométricos diários ocorridos nas estações.

Para tanto, as Figuras 23 e 25 expressam tais valores entre as estações analisadas.

Figura 23. Gráfico dos valores de R10mm, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que o número de dias com chuvas acima de 10mm, além de recorrentes, apresentaram uma média de 48 dias, aproximadamente, nas estações. Vale ressaltar, que se observa uma tendência de redução nos últimos anos da série de dados analisada, reafirmando a diminuição desses episódios na maioria das estações. Entretanto, as flutuações, como em 1983, 2014 e 2017, expressam extremos acima, abaixo e, até um indicativo de normalidade nos dados (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

A Figura 24 expressa os valores máximo, médio e mínimo do índice R10mm entre as estações observadas.

Figura 24. R10mm – Máximo, média e mínimo do número de dias acima de 36mm de chuvas nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25. Gráfico dos valores de R20mm, anualmente, nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já para o valor de R20mm, nota-se que a média foi de 27 dias, o que expressa, ao menos, quase 1 mês de chuvas acima de 20mm, anualmente, em todas as estações.

Entretanto, vale ressaltar a flutuação destes episódios chuvosos, uma vez que anos como 1983 expressam comportamento anômalo na série (CORREA, 2013; MELLO; ZAVATTINI, 2016; RAO; HADA, 1990), além de anos considerados mais secos, como 2008 e 2014, por exemplo (MARENGO et al., 2015; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

A Figura 26 expressa os valores máximo, médio e mínimo do índice R20mm entre as estações observadas.

Figura 26. R20mm – Máximo, média e mínimo do número de dias acima de 36mm de chuvas nas estações

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tais comportamentos também se verificam nas Figuras 27 e 28, que expressam os histogramas e a distribuição normal dos dados de R10 e R20mm nas estações.

Nestes, pode-se observar a frequência nos dados entre 15 e 20, sendo que para o R10mm, os episódios de chuvas acima de 10mm se colocaram, predominantemente, entre 40 e 60 dias de duração, entre os anos e entre as estações.

Além disso, para o R20mm, notou-se que o número de dias chuvosos esteve entre 15 e 35, reafirmando o comportamento discutido anteriormente.

Figura 27. Gráfico de histograma do R10mm (número de dias acima de 10mm), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28. Gráfico de histograma do R20mm (número de dias acima de 20mm), nas estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fim de descrever os episódios de chuvas intensas e extremas, serão apresentados os resultados de um trabalho preliminar publicado no ano de 2018 pelo autor¹.

Neste, foram observadas apenas 3 estações da região, onde foram determinados os valores dos *outliers* e analisada sua evolução anual, além de impactos ambientais diretamente associados à esses eventos (SANCHES et al., 2018). A escolha dos anos se deu pela maior consistência nos dados entre as estações e para que todas tivessem dados no mesmo período.

A Figura 29 e a Tabela 4 expressam a localização e as informações das estações utilizadas neste trabalho.

¹ SANCHES, R. G. et al. Intense Rainfall in São Carlos/SP: Determination of Threshold Values Using Climate Indices and Their Spatio-Temporal Repercussion. American Journal of Climate Change, v. 07, p. 388, 17 ago. 2018. Disponível em: https://file.scirp.org/Html/2-2360624_86718.htm

Figura 29. Localização das das estações climatológicas utilizadas no estudo.

Fonte: Adaptado de Sanches et al. (2018).

Tabela 4. Descrição das estações climatológicas utilizadas no estudo.

Estação (Orgão responsável)	Altitude	Latitude	Longitude	Operation
CRHEA (EESC/USP)	737	22°10'12''	47°53'55''	1972 – atualmente
INMET (UFSCar)	856	21°48'58''	47°53'02''	1939 – atualmente
EMBRAPA (Pecuária Sudeste)	850	21°09'00''	47°08'00''	1992 – atualmente

Fonte: Adaptado de Sanches (2015) e Sanches et al. (2018).

A partir deste trabalho, foi expandida a área de estudo e os anos da série histórica, sendo os resultados encontrados semelhantes ao comportamento discutido pelo artigo e

reafirmando a determinação dos *outliers* como uma ferramenta em potencial para observação dos valores de chuva intensa e extrema.

Os resultados do trabalho publicado compreendem a análise dos valores extremos de precipitação que, por sua vez expressam um dos aspectos de grande interesse dos estudos climatológicos atualmente, uma vez que esses se associam às inundações, deslizamentos de terra e perdas agrícolas, entre outros impactos próximos a áreas rurais e urbanas.

Assim, a detecção de tais valores, bem como de seu comportamento interanual influem para o planejamento em diferentes esferas na tomada de decisão, além de representar uma ferramenta para sua detecção e análise.

A determinação dos valores para estes episódios se utilizam de critérios distintos, como valores fixos em relação a chuvas extremas (entre 50 e 60 mm em um único dia), comumente admitido como valor limiar (LIMA; AMORIM, 2015; SANTOS et al., 2012).

Entretanto, verificou-se que a ocorrência desses valores, mesmo como um limiar aceitável, não expressa o mínimo esperado para se configurar uma chuva intensa ou extrema. Tal aspecto não se dá apenas na área de estudo, de modo que utilizar um valor único para toda uma região de um Estado, por exemplo, pode ser um equívoco.

Diversos estudos apontam para variabilidade nos volumes e nos padrões pluviométricos intensos e extremos, indicando alta vulnerabilidade de alterações nos volumes pluviométricos, especialmente em relação às chuvas intensas e extremas (CAVALCANTI, 2012; HAYLOCK et al., 2006; LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010; MUZA et al., 2009; RAO et al., 2016; SERRA et al., 2014).

Quanto aos critérios de sua determinação, notam-se diversas formas de determinação (valores limiares) e análise temporal. Quanto à intensidade, destaca-se a determinação da Organização Meteorológica Mundial (OMM), expressa na tabela 5.

Tabela 5. Classificação das chuvas quanto a intensidade.

Classificação da chuva	Chuva (mm)	Ocorrência/Duração (minutos/hora)
Frac	até 0,8	em 10 minutos
	de 1,1 até 5,1	/hora
Moderada	até 4,0	em 10 minutos
	de 5,1 até 25,0	/hora

Classificação da chuva	Chuva (mm)	Ocorrência/Duração (minutos/hora)
Forte	até 8,0	em 10 minutos
	de 25,1 até 50,0	/hora
Muito forte	mais de 8,0	em 10 minutos
	acima de 50,0	/hora

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (1998).

A dinâmica atmosférica complexa observa-se como o fator responsável por eventos de chuvas intensas e extremas.

Sendo assim, nota-se que a variabilidade das chuvas intensas e extremas se dão por meio de sistemas frontais, em 53% (LIMA et al. 2010), do aumento dos volumes de chuvas, devido a anomalias oceânicas e padrões de uso da terra (CAVALCANTI, 2012; KAYANO E CAPISTRANO 2014; ZILLI et al. 2017) e, até mesmo, pelas alterações entre os períodos inicial e final das estações chuvosas (RAO et al. 2016).

A necessidade de observar as tendências de chuvas intensas e extremas no sudeste da América do Sul, no sudeste brasileiro e no interior de São Paulo é de grande interesse na climatologia, uma vez que mudanças nos regimes de precipitação total, interanual e extrema foram observadas em todas essas áreas, ao longo do tempo (BLAIN, 2011, 2013; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; SANTOS et al., 2012; YOULTON et al., 2012; ZILLI et al., 2017).

Para tanto, foram calculados os valores de R10mm; R20mm; R35mm; R46mm; e, em função de estudos preliminares (LIMA; AMORIM, 2015; SANTOS et al., 2012), foi calculado o R60mm.

Elaborados os cálculos dos índices, foram observados os dados do SIMPAT-SINAL-SOS/FINEP (Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil), banco de dados de desastres naturais do IPMet (Centro de Meteorologia de Bauru/SP) para a região de estudo, no período estudado (1993-2014).

O cálculo do índice R35mm expressa a presença de *outliers* nas séries históricas de dados, representando a incidência de chuvas de caráter excepcional, ou seja, atípicas em relação à precipitação diária nas estações.

Após a determinação dos valores considerados como observações anormais para a série, aqueles maiores que 35 mm de chuva foram calculados pelo índice e expressos pela Figura 30.

Figura 30. Gráfico dos valores de R35mm, anualmente, nas estações, 1993-2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir destes, é possível verificar períodos em que as três estações meteorológicas apresentaram comportamento semelhantes ou distintos nos registros diários de chuva, reafirmando o aspecto espacial dinâmico. Observa-se, ainda, que as flutuações anuais ocorreram nos dias em que a precipitação esteve acima de 35 mm, sendo os últimos seis anos os que mais oscilaram acima e abaixo da média obtida (dez dias) na série de dados.

Além dos valores excepcionais observados nesses anos, outro importante fator é que, em 2014, o número de dias em que a precipitação foi superior a 35 mm (*outlier*), foi o menor registrado em todas as estações.

Além disso, a estação meteorológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA registrou apenas três dias com mais de 35 mm de chuva, enquanto os outros dois relataram seis dias em que esse valor foi registrado.

Nota-se, também, que 2009 foi o ano em que todas as estações apresentaram pelo menos 15 dias em que a precipitação ultrapassou os 35 mm. A estação do INMET registrou 22 dias com chuva acima deste valor, representando a maior quantidade de precipitação entre as estações meteorológicas.

A excepcionalidade dos *outliers* também foi calculada (multiplicado 4) por meio do índice R46mm, que expressa o número de dias em que as chuvas ultrapassaram o limiar de 46mm de chuvas.

Considerou-se esse valor limiar como chuva extremas para as estações. A Figura 31 expressa o R46mm nas estações.

Figura 31. Gráfico dos valores de R46mm, anualmente, nas estações, 1993-2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dias chuvosos considerados extremos (mais de 46 mm de precipitação) apresentaram flutuações significativas de dados e, para o período, observou-se o número médio de cinco dias anuais com precipitação acima desse volume.

Verificou-se, também, que o maior número de dias com precipitação acima de 46 mm ocorreu nos últimos seis anos, apesar das diferenças de dados entre as estações meteorológicas.

Em 1994 e 2008, não houve registro de nenhum dia com mais de 46 mm de chuva em duas das estações, sendo a estação CRHEA a única que relatou pelo menos um dia chuvoso que excedeu esse valor.

Para tanto, observou-se significativa variabilidade entre as estações nos resultados deste índice. Além disso, a estação CRHEA registrou pelo menos um dia a cada ano com chuvas extremas, e em todas as estações, essas chuvas ocorreram, apesar das flutuações que ocorreram ao longo do tempo.

A precipitação acima de 60 mm representa o último índice calculado do *Rnn*. A Figura 32 expressa o número de dias em que a precipitação diária ultrapassou 60 mm entre 1993 e 2014, nas estações.

Figura 32. Gráfico dos valores de R60mm, anualmente, nas estações, 1993-2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o cálculo do número de dias com mais de 60 mm de precipitação nas estações, também se observaram significativas flutuações nos dados do período, bem como a existência de disparidades entre as estações.

A precipitação acima de 60 mm também representa valores muito acima do determinado pela detecção dos *outliers*, entretanto, a análise deste se mostrou relevante em função de estudos anteriores para a mesma região (LIMA; AMORIM, 2015).

Dentre as principais características nestes dados, destaca-se a variação sazonal e interanual dos dados, além de seu valor médio, que foi de 2 dias, anualmente, entre as estações.

Em 1993 e 1997, a estação CRHEA não registrou nenhum dia em que as chuvas ultrapassaram 60 mm, embora tenha registrado o maior número de anos com precipitação acima de 60 mm entre as estações analisadas.

As estações EMBRAPA e INMET apresentaram flutuações interanuais significativas, o que não caracteriza uma tendência a aumentar ou diminuir o número de dias com chuvas acima de 60 mm. Já no ano de 2014, último ano calculado pelo índice, notou-se que todas as estações registraram apenas um dia com mais de 60 mm de precipitação.

A partir do cálculo dos valores para chuvas intensas e extremas, foram comparados os volumes pluviométricos com o banco de dados de desastres naturais do IPMet, a fim de analisar a repercussão espaço-temporal desses eventos.

Tal repercussão de valores intensos de precipitação no espaço mostrou-se evidente. Sendo a detecção dos valores limiares para chuvas intensas e extremas de grande valia para o planejamento das cidades, por exemplo, uma vez que o acumulado em um dia de valores de 35 e 46 mm pode desencadear impactos relativos às inundações urbanas, danos sociais e outros cenários de desastres, conforme observado na tabela 6.

Tabela 6. Desastres associados às chuvas na região de São Carlos/SP, 2005-2016.

Data	Fenômeno	Duração	Código de ocorrências/danos (Legenda)*	Total de danos	Total de vítimas	Fonte
16/03/2005	Chuva forte	-1	31,43	-1	-1	Defesa Civil
26/10/2005	Chuva forte	20 min	33,36	-1	-1	Defesa Civil
28/10/2005	Chuva forte	-1	25,32,35,37	-1	-1	Defesa Civil
16/12/2005	Chuva forte	40 min (41 mm)	25,26,34,35,44	-1	-1	Defesa Civil
21/12/2005	Chuva forte	2 h	20,21,27,28,30,33,37	-1	-1	Defesa Civil
14/02/2006	Chuva forte	1 hora	21,30,33	-1	-1	Defesa Civil
09/01/2009	Chuva forte/ Ventos fortes	-1	25,28,30,33,36(6),37	6	-1	Defesa Civil

Data	Fenômeno	Duração	Código de ocorrências/danos (Legenda)*	Total de danos	Total de vítimas	Fonte
12/10/2009	Chuva contínua	-1	25(5),37,53	5	-1	Defesa Civil
26/10/2009	Chuva forte	-1	30,32,33,46	-1	-1	Defesa Civil e Folha de São Paulo
17/12/2009	Chuva forte	01h00	21(4),25(1),37	5	4	Defesa Civil
07/10/2010	Chuva forte	-1	33,37,52	-1	-1	G1
31/01/2011	Chuva forte	-1	29,30,33,35,37,46	-1	-1	G1
26/02/2011	Chuva contínua	-1	23(1),26,27,39,45	1	1	Defesa Civil
26/02/2011	Chuva contínua/ Ciclone	-1	22(1),23(1),26,27,35,45	2	2	Defesa Civil
27/02/2012	Chuva forte	15 min (16mm)	28,29,30	-1	-1	G1
05/06/2012	Chuva forte	-1	28,32,33	-1	-1	G1
23/10/2012	Chuva forte	curta duração	25(10)	10	-1	Defesa Civil
23/10/2012	Chuva forte	curta duração	25(10)	10	-1	Defesa Civil
09/11/2012	Chuva forte	-1	25(3),36(1),37,40(1),53(1)	6	-1	G1
09/12/2012	Chuva forte	10min	22(22),25	22	22	Defesa Civil
12/01/2013	Chuva contínua	longa duração	27,34,39,46	-1	-1	Defesa Civil
22/02/2013	Chuva forte	40min	26,28,30,32,34	-1	-1	Defesa Civil
09/03/2013	Chuva forte	curta duração	25,26,28,30,33,37	-1	-1	Defesa Civil
28/05/2013	Chuva forte	curta duração	20(3),25,30,33,34,41,46	3	3	Defesa Civil
22/10/2013	Chuva forte	curta duração	26,28,30,33(50),34,35(5),44,46,56,57	55	-1	Defesa Civil

Data	Fenômeno	Duração	Código de ocorrências/danos (Legenda)*	Total de danos	Total de vítimas	Fonte
04/11/2013	Chuva forte	curta duração	30	-1	-1	G1
30/11/2013	Chuva forte	30min	25,34,37	-1	-1	G1
05/12/2013	Chuva forte	curta duração	25,34	-1	-1	G1
14/01/2014	Chuva forte	curta duração	21(5),28,30,36(2),37	7	5	Defesa Civil
02/09/2014	Chuva forte	02h	25(6),28,30,33,36,37,56	6	-1	G1
09/11/2014	Chuva forte	curta duração	25,30,34,36,40,53	-1	-1	Defesa Civil
07/01/2015	Chuva forte/ ventos fortes	curta duração	22(1),23(1),51	2	2	Defesa Civil
23/11/2015	Chuva forte	30 min (58mm)	28,30,32,33,34,35	-1	-1	Defesa Civil e G1
25/01/2016	Chuva forte	1h30 - 32mm	28,33,34,39,46	-1	-1	G1
23/03/2016	Chuva forte	-1	25(40),37	40	-1	Defesa Civil
16/05/2016	Chuva forte	-1	20(40),25,30,33(80),35,36,37	120	40	Defesa Civil
01/06/2016	Chuva forte	-1	20(16),25(14),33,35,36	30	16	Defesa Civil
05/06/2016	Chuva forte/ Ventos fortes	120 km/h	21,22(2),25,32,33,35,36(130),37,40,53	132	-1	G1, São Carlos Agora e Defesa Civil
11/10/2016	Chuva forte	-1	25,30,32(1),33,37	1	-1	Defesa Civil

Fonte: Adaptado de Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil - SIMPAT-SINAL-SOS/FINEP/IPMET (2018).

Já a Tabela 7 expressa o código referente à ocorrência, a partir de sua repercussão espacial. Essa codificação expressa os danos materiais e/ou humanos para a região de estudo.

Tabela 7. Legenda do código de ocorrências/danos das repercussões espaciais.

*Descrição do código de ocorrência/dano			
Desabrigado(s)	20	Queda de Poste	40
Desalojado(s)	21	Desbarrancamento da Margem do Rio	41
Ferido(s)	22	Acidente com Aeronave/Aeroporto Fechado	42
Vítima(s) fatal(is)	23	Escorregamento de Encosta	43
Queda de Barreira	24	Acidente com carro	44
Queda de Árvores	25	Pessoa arrastada pela enxurrada	45
Transbordamento de Rios e Córregos	26	Danificação em Pavimentação	46
Danos em Pontes	27	Rompimento de Barragem	47
Inundações Graduais	28	Rompimento da Rede de Água e Esgoto	48
Enchentes	29	Acidente com Trem	49
Alagamentos	30	Afogamento dentro da residência	50
Deslizamento de terra	31	Danos causados por raio	51
Queda de Muro	32	Queda de Torre	52
Desabamentos/Rachadura/Danos em Imóveis	33	Queda de Outdoor	53
Congestionamento/Interdição de Via Pública	34	Inundações Litorâneas	54
Danos em Veículos	35	Animais mortos por raio	55
Destelhamentos	36	Enxurradas	56
Corte no fornecimento de energia e água	37	Inundações Bruscas	57
Destruição de Plantação e Estrada Rural	38	Acidente com Embarcação	58
Erosão/Buraco	39	Assoreamento de rio	59
Sem informação			-1

Fonte: Adaptado de SIMPAT-SINAL-SOS/FINEP/IPMET.

A fim de ampliar a área de estudo, foram calculados os números de dias com chuvas intensas e extremas, agora com todas as estações analisadas, anteriormente, pelos outros índices.

Para tanto, foram calculados o R36mm e seu respectivo histograma e distribuição normal dos valores, anualmente. A Figura 33 expressa os valores dos dias acima de 36mm, valor limiar determinado pelo cálculo dos *outliers* médio entre as estações.

Figura 33. Gráfico dos valores de R36mm, anualmente, nas 7 estações, 1993-2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme expresso anteriormente, observa-se significativa flutuação nos dados, com destaque para o ano de 1983, que expressou 20 ou mais dias com chuvas intensas em todas as estações.

Nota-se, também, que o valor médio da ocorrência das chuvas intensas foi de 11 dias. No ano de 2014, verificou-se a redução desses episódios, bem como da redução do volume acumulado anualmente, citado anteriormente do índice PRCPTOT.

Nos últimos anos, entretanto, pode-se verificar que algumas estações apontam para o aumento, como a Sta. Bárbara e Água Branca. Já a estação INMET e Faz. Barra, por exemplo, apresentam redução desses valores.

A Figura 34 expressa o comportamento dos valores de R36mm nas estações e sua distribuição normal.

Figura 34. Gráfico de histograma do R36mm (número de dias acima de 36mm), nas 7 estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos valores limiares de, aproximadamente, 11 dias, observou-se que a maior frequência destes episódios ocorre entre 8 e 16 dias, ou seja, espera-se que ocorram tais episódios em todos anos, a partir da análise dos dados diários, uma vez que apenas em alguns anos ocorreram 4 dias com chuvas intensas entre as estações.

Notou-se, portanto, valores distintos entre as estações observadas. Com isso, a Figura 35 expressa os valores do número de dias máximo, médio e mínimo das chuvas intensas (R36mm) entre as estações.

Figura 35. R36mm – Máximo, média e mínimo do número de dias acima de 36mm de chuvas nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O índice R46mm também foi calculado para todas as estações. Vale ressaltar que esses valores expressam chuvas extremas a partir da detecção dos *outliers*. Sendo assim, foram contabilizados todos os dias acima de 46mm de chuva entre as estações.

A Figura 36 expressa os valores do índice R46mm.

Figura 36. Gráfico dos valores de R46mm, anualmente, nas 7 estações, 1993-2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notou-se, que o valor médio de dias acima de 46mm entre as estações foi de 6 dias. A ocorrência dos episódios de chuvas extremas acompanha, em alguns casos, os maiores volumes pluviométricos acumulados (PRCPTOT), como em 1983. Contudo, observaram-se picos de chuva extremas em algumas estações que não ocorreram em outras, como em 2009 na estação INMET ou em 2015 na estação Rib. Feijão.

Nos últimos anos da série de dados algumas estações encontram-se abaixo do valor limiar determinado (Sta. Eudoxia; INMET; Rib. Feijão; Faz da Barra) e, em outras, acima desse valor (Sta Bárbara; Água Branca; Usina Capão).

Com isso, calcular a tendência desses episódios, temporalmente, pode contribuir para analisar a redução dos episódios de chuvas extremas e se o volume acumulado de chuvas extremas (mm) tende a aumentar ou reduzir.

A fim de analisar os valores e sua distribuição normal, a Figura 37 descreve o histograma desses episódios, anualmente.

Figura 37. Gráfico de histograma do R46mm (número de dias acima de 36mm), nas 7 estações, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se que a frequência dos dias com chuvas extremas encontrou-se entre 2 e 10 dias, o que expressa grande variabilidade desses episódios, anualmente. Além disso, em alguns anos as chuvas extremas não ocorreram em estações, como a INMET. Vale

ressaltar, que o impacto dessas chuvas tem caráter catastrófico para as cidades e para o planejamento regional.

Os *outliers*, para tanto, expressam uma boa ferramenta para determinação de valores extremos em séries longas de dados. Vale ressaltar que a falta de dados pode influenciar na qualidade desses valores sendo que, nesse estudo, as falhas não comprometeram a determinação dos valores limiares.

Diante do comportamento distinto entre os pontos analisados, a Figura 38 expressa os valores máximo, médio e mínimo dos episódios de chuvas extremas observadas entre as estações de São Carlos/SP.

Figura 38. R46mm – Máximo, média e mínimo do número de dias acima de 46mm de chuvas nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos valores limiares de chuvas intensas e extremas pode-se identificar períodos recorrentes de chuvas extremas, agora estabelecidos a partir de dados obtidos na própria área, sem suposições sobre sua ocorrência (LIMA; AMORIM, 2015), e na identificação *in situ* de seu comportamento registraram as estações meteorológicas.

Os valores de 10 mm e 20 mm apresentaram significativa variação nas séries históricas, mesmo que sejam valores característicos do verão na região. Além disso, as flutuações no número de dias com esses valores de precipitação estão diretamente associadas aos anos de maior ou menor volume pluviométrico anual.

Vale ressaltar que, para todas as estações, o número de dias chuvosos apresentou uma queda significativa, como verificado também no volume de chuva e sua intensidade, anteriormente (SANCHES et al., 2017).

Dado seu dinamismo, compreender esses valores pode contribuir para diferentes áreas do planejamento, como no setor agrícola e industrial, no espaço urbano, no abastecimento de água, etc.

Isso se deve ao fato de que, com a observação de dados climatológicos confiáveis, ou seja, quando a coleta e tratamento dos dados é realizada de forma controlada e adequada, a compreensão de seu comportamento é avaliada por uma ferramenta que apresenta melhor visibilidade climatológica.

Sendo assim, uma análise quantitativa pode estabelecer um processo de planejamento estruturado, apoiando, conseqüentemente, a tomada de decisão por aspectos políticos, econômicos, sociais e ambientais, com um quadro teórico-metodológico viável.

Em tempo, esse estudo não limita a compreensão da precipitação intensa em valores isolados para marcar parâmetros de planejamento, nem exclui a interação com a intensidade, duração e frequência de eventos de chuva intensa e extrema. Mas, pode fornecer novas direções para a compreensão de sua previsão ou prognóstico, uma vez que estão fortemente associadas aos contextos de desastres.

6.3 Resultados dos índices calculados pelo script RClimdex em outras regiões e análises distintas

O cálculo dos índices pelo *script* RClimdex também foram realizados em outras áreas de estudo e com outras finalidades ao longo do processo de doutoramento, a fim de verificar sua eficácia, bem como de validar essa ferramenta junto aos estudos de climatologia regional, no sudeste brasileiro.

O primeiro trabalho, intitulado “Influência da variabilidade climática na produção canavieira na microrregião de São Carlos/SP no período de 1994 a 2014”, expressa a relação dos índices com a região de São Carlos/SP está em análise junto à Revista Brasileira de Climatologia (RBClima) após sua submissão em 2018.

Já o segundo trabalho, intitulado “Índices climáticos e chuvas intensas no município de Alfenas/MG no período de 1984-2016.”, expressa o uso dos índices climáticos do *script* RClimdex em Alfenas/MG, e foi publicado na Revista Brasileira de Climatologia (RBClima) como parte de um dossiê climatológico para o Estado de Minas Gerais².

6.3.1 Influência da variabilidade climática na produção canavieira na microrregião de São Carlos/SP no período de 1994 a 2014.

Este estudo expressa a relação entre a produção agrícola na microrregião de São Carlos/SP e a análise das chuvas por meio dos índices climáticos para pluviosidade, calculados por meio do *script* RClimdex.

A tolerância das espécies vegetais ao estresse hídrico pode variar em função de seus aspectos estruturais ou, até mesmo, das intervenções antrópicas promovidas pelo uso de biotecnologia. A necessidade de estudos que associem a agricultura e clima (mudanças

² SOUZA, Paulo Henrique de; SANCHES, Rafael Grecco; SANTOS, Bruno César dos. ANÁLISE DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE ALFENAS/MG: ÍNDICES CLIMÁTICOS E CHUVAS INTENSAS NA SÉRIE HISTÓRICA, 1984-2016.. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], nov. 2018. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/59775/36772>>. Acesso em: 26 mar. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.59775>.

climáticas), bem como os múltiplos fatores que causam estresse no ambiente tropical, se fazem necessários para a compreensão e a gestão nessas áreas (TANIWAKI et al., 2017).

De acordo com a Martins et al. (2012), o estresse hídrico constitui-se numa ameaça à segurança alimentar, pois pode comprometer a produção agrícola e o desempenho da lavoura; por isso, o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a seca e o emprego de tecnologias que auxiliem as plantas na superação da diminuição que ocorre na oferta de água ao longo dos veranicos e períodos prolongados de estiagem, respondem pelo desafio da agricultura em qualquer porção do planeta.

O déficit hídrico expressa um aspecto negativo quanto à tolerância dos organismos vegetais, nesse caso, a soja, e sua produtividade, sendo sua gestão adaptativa o aspecto trivial para a melhoria dos cultivares frente às alterações no regime climático regional (BATTISTI et al., 2017).

Os cálculos podem ser permanentes ou eventual a partir da disponibilidade de dados (pluviométricos e fluviométricos). Essa predição pode contribuir com a antecipação de cenários em até alguns anos – eventos cíclicos – oferecendo expectativa sobre o impacto e os efeitos da variabilidade climática e seus efeitos econômicos e sociais.

Os impactos do clima na agricultura são observáveis, também, na sanidade dos organismos vegetais quanto à suscetibilidade de doenças, sendo os estudos da adaptação climática dos cultivares de grande valia para as estratégias produtivas (SENTELHAS et al., 2016; VELASCO; PIMENTEL, 2010).

As atividades agrícolas somam quase 10% do volume de PIB (Produto Interno Bruto) do país, conferindo ao Brasil destaque na produção de commodities como o milho, a soja, a laranja e a cana-de-açúcar dentre outras, auxiliando a economia graças aos recursos externos que proporciona.

A ÚNICA³ (União da Indústria de Cana-de-açúcar) o setor sucroenergético destacou-se como o 3º maior segmento na pauta de exportação do agronegócio do Brasil no ano de 2014 com aproximadamente US\$ 10 bilhões em volume de exportação de açúcar e álcool,

³ ÚNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). www.unica.com.br/unica. Acesso em 16/10/2017.

sendo que o valor bruto movimentado pelo setor superou US\$ 100 bilhões, com um PIB de aproximadamente de US\$ 43 bilhões que equivale a cerca de 2% do PIB brasileiro.

O Brasil possui a maior produção de cana-de-açúcar do planeta com um volume da ordem de 630 milhões de toneladas processadas em 2014/2015, sendo a região Centro-Sul a que obtém maior destaque respondendo por 90% de toda produção nacional (Figura 39).

Figura 39. Mapa da produção de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: NIPE-Unicamp, IBGE e CTC

Fonte: NIPE-Unicamp, IBGE e CTC (2017). Adaptado de Sarmiento Ardila (2016).

A Figura 40 expressa o comparativo na produção de cana-de-açúcar entre o Estado de São Paulo e a produção total brasileira.

Figura 40. Comparação da produção de cana-de-açúcar (%) no Brasil.

Fonte: Adaptado de Produção Agrícola Municipal - SIDRA/IBGE (2018).

Diversos trabalhos analisam a produção do setor agrícola relacionando-a ao clima e suas alterações temporais – sazonalidade (BRAIDO; TOMMASELLI, 2010; SILVA; PRELAPANTANO; SANT'ANNA NETO, 2008) no entanto, o impacto sofrido com os períodos de estiagem prolongada ou com a baixa precipitação de seu período mais úmido – verão, como vivenciado pela microrregião de São Carlos/SP, uma das áreas de destaque na produção de cana-de-açúcar, não foi estudado para entender como esse tipo de cenário atmosférico interfere no desempenho dos cultivos.

Nessa região, a produção de cana-de-açúcar é a cultura agrícola mais expressiva do setor primário em área plantada e produção, com a constatação de que continua em crescimento, como destacado nas Figuras 41 e 42.

Figura 41. Área total plantada, por cultura agrícola, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Produção Agrícola Municipal - SIDRA/IBGE (2018).

Figura 42. Participação (%) das culturas agrícolas na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Produção Agrícola Municipal - SIDRA/IBGE (2018).

Assim, dada a importância do setor sucroalcooleiro na microrregião de São Carlos/SP, buscou-se analisar a relação entre os efeitos do comportamento climático regional e seu impacto na cultura agrícola da cana-de-açúcar nessa, bem como identificar como a manifestação de eventos extremos podem impactar o desempenho de uma lavoura.

A microrregião de São Carlos (Figura 43) agrega os municípios de Descalvado, Ibaté, Ribeirão Bonito, Dourado, Analândia e São Carlos. Apresenta, aproximadamente, 335.000 habitantes dispostos em uma área de, aproximadamente, 3.190 km², e se localiza na porção centro norte do estado de São Paulo (IBGE, 2015).

Figura 43. Localização da Microrregião de São Carlos/SP

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Foram utilizados dados diários de chuvas da região de São Carlos/SP, das estações INMET/UFSCar (Instituto Nacional de Meteorologia/Universidade Federal de São Carlos), a estação EMBRAPA/Pecuária Sudeste e a estação do CRHEA/EESC/USP (Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais/Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo), conforme a Tabela 4.

Os dados de produção agrícola foram obtidos junto ao SIDRA/IBGE (Sistema IBGE de Recuperação Automática), que consiste em um banco de dados constituído de tabelas contendo dados agregados às pesquisas realizadas pelo IBGE e em diferentes escalas (municipal, estadual, regional, federal, etc.).

Os dados são referentes à microrregião de São Carlos e expressam a produção agrícola, a área planta e a evolução da produtividade de diferentes culturas presentes na mesma. Foi selecionado o período de 1994-2015 (referente aos últimos dados de safra contabilizados).

A fim de compreender o comportamento das chuvas para a microrregião de São Carlos, utilizou-se o método de classificação de “*anos padrões*” e o script RClimdex por meio de índices climáticos.

Classificação de anos-padrões

Para a classificação de anos padrões, adotou-se o período chuvoso (Outubro a Março) para análise pluviométrica (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017). Com isso, buscou-se identificar os anos que se mostraram fora dos padrões, ou seja, os diferentes valores de precipitação que apresentaram desvios próximos da habitualidade ao lado daqueles afetados por irregularidades e manifestações atmosféricas do tipo, apresentando índices pluviométricos mais distantes em relação às médias, caracterizando-se como anos “*chuvosos*” ou “*secos*”, conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Classificação e determinação dos anos-padrões.

Classificação dos Anos-padrões		
Classificação	Padrões Pluviométricos	Desvio (+) ou (-) em %
Anos Secos	Extremamente Seco (S)	< 30%
	Tendente a seco (TS)	15 – 30 %
Anos Normais	Normal levemente tendente a seco (NS)	5 – 15%
	Normal (N)	0 – 5%
	Normal levemente tendente a chuvoso (NC)	5 – 15%
Anos Chuvosos	Tendente a chuvoso (TC)	15 – 30%
	Extremamente chuvoso (C)	> 30%

Fonte: Adaptado de Braido e Tommaselli (2010); Santos, Souza e Vecchia (2017) e Silvestre (2013).

Vale destacar que tal metodologia não discute pontualmente ocorrências que se manifestam em períodos curtos (diários), recobrando, por conseguinte uma atenção maior do pesquisador no cuidado de eventos que por vezes possam ser mais significativos que a média mensal avaliada.

Esta classificação evidencia os anos que apresentaram valores extremos (positivos e negativos) da precipitação média obtida nos dados coletados em cada estação. A média do período chuvoso considerado nesse estudo a partir das três estações consultadas é de aproximadamente de 1.177 mm em função da ocorrência de anos-padrões, de chuvosos a secos (Tabela 9).

Tabela 9. Ocorrência das classes de “Anos Padrão” na série histórica considerada.

CLASSES	CREHA	INMET	EMBRAPA	Porcentagem	Ordem de frequência
C	2x	-	-	3,17%	6°
TC	2x	4x	3x	14,28%	4°
NTC	4x	3x	5x	19,04%	3°
N	3x	7x	7x	26,98%	1°
NTS	7x	4x	3x	22,22%	2°
TS	3x	2x	2x	11,11%	5°
S	-	1x	1x	3,17%	6°
TOTAL	63 Classificações			100%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a aplicação da metodologia pode-se observar que em alguns anos a precipitação apresentou desvio positivo em relação à média, ou seja, manifestou índices acima da média da série histórica consideradas, conforme expresso pela Figura 44.

Figura 44. Desvios de precipitação e produção de cana-de-açúcar (ton) no período de 1994-2015.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este foi o caso dos semestres hidrológicos de 1994-95, 1998-99, 2001-02, 2009-10 e 2010-11. Não obstante ao impacto que tal excedente possa ter ocasionado no desempenho da lavoura canavieira, verificou-se, com base nos dados coletados de produção, que nos períodos de 1994-95 e 2001-02 o aumento no volume da safra colhida está diretamente relacionada à expansão da área plantada.

Por seu turno, no ano de 1998-99 o ritmo de produção manteve-se inalterado, não apresentando nenhum pico de aumento ou redução. Já nos anos de 2009-10 e 2010-11 a área plantada se manteve a mesma, mas os valores da produção tiveram um ligeiro crescimento, principalmente no ano de 2010-11, sinalizando uma possível interferência do comportamento atmosférico sobre a produtividade das plantas.

Além dos anos positivos, foram identificados anos com valores negativos de precipitação em relação ao valor médio da série histórica, este foi o caso dos semestres hidrológicos de 1993-94, 2007-08, 2008-09 e 2013-14.

Ressalta-se que, apenas no período 2013-14, observou-se uma queda no valor da produção canavieira, não obstante à expansão de área plantada. Esta redução na produção de 2013-14 deve estar associada à reduzida precipitação durante o período chuvoso,

principalmente nos meses referente ao verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) que apresentaram valores extremamente abaixo da média (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

A excepcionalidade de um sistema de alta pressão, no caso a ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul), ao oeste do oceano Atlântico subtropical gerou um quadro de déficit hídrico em 2014, devido ao seu bloqueio atmosférico. Isso impediu a entrada do fluxo de umidade da Amazônia, dos sistemas frontais e, assim, desfavorecendo a configuração de eventos de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e, consequentemente, favorecendo para a diminuição das chuvas para a região Sudeste do Brasil (PEREIRA; REBOITA; AMBRIZZI, 2017; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Nos anos 2000, notou-se a expansão da produção (toneladas), que se justifica a partir da ampliação da área produzida (hectares), conforme apontado anteriormente. Contudo, as oscilações interanuais se dão, também, em função da flutuação pluviométrica.

As chuvas do verão de 2013-14 não foram suficientes para gerar um quadro hídrico positivo para o processo de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, prejudicando significativamente o desempenho das plantas e a produtividade da lavoura.

A disponibilidade de água para a cana-de-açúcar expressa o principal fator climático causador da variabilidade na produção, mesmo que seja complexo associar a produção e consumo de água pela cana-de-açúcar (GOUVÊA, 2008).

A necessidade hídrica anual que a planta necessita para o seu desenvolvimento máximo, é em torno de 1.300mm a 1.500mm, principalmente nos meses iniciais (Janeiro a Março) do ano que respondem pelo momento onde as condições desejadas e ideais para o plantio devem ocorrer para garantir o seu desenvolvimento (MARTINS; OLIVETTE, 2015).

Nesse sentido, a estiagem verificada no ano de 2014 foi o fator climático que provavelmente constituiu o condicionante para a redução na produtividade da cana-de-açúcar para a microrregião de São Carlos, pois, no caso do semestre hidrológico de 2013-14 é importante ressaltar sua condição diferenciada que o situa exclusivamente na classe “seco” com valores extremamente abaixo da média. Aliás, seus índices acusam um comportamento atípico do esperado.

As observações de alguns índices climáticos se mostraram também importantes para o planejamento agrícola, demandando sua avaliação frente ao desempenho das safras obtidas no período 1994-2014. Para tanto, foi feita a análise dos índices de chuvas calculados no script RClimdex associando-os à produção da cana-de-açúcar na microrregião de São Carlos.

A relação entre a produção canavieira e as chuvas foi feita a partir do máximo acumulado em um único dia, da intensidade pluviométrica diária, dos eventos extremos de precipitação, dos dias consecutivos secos, dos dias consecutivos úmidos e da precipitação anual (diária, acumulada) para a série histórica em estudo.

Adotou-se também, para cada um dos índices, o valor médio de toda a série histórica para comparação entre períodos acima ou abaixo do mesmo em meio às flutuações interanuais dos dados. Os índices calculados e utilizados para as chuvas diárias foram: A) RX 5 dias; C) SDII; D) DCU; E) DCS; F) PRCPTOT.

Os dados comparados de precipitação e produção apresentaram sintonia, uma vez que pode ser observado em alguns períodos, a influência das chuvas junto à produtividade da lavoura.

Entretanto, vale ressaltar que os indicativos de aumento na produção também se dão pelo aumento direto da área plantada, ou seja, o que de fato influi no aumento da capacidade produtiva (em toneladas), é a produção total agregada pelas áreas expandidas de cultivo em terras ociosas, ou, até mesmo, pela substituição de outros tipos de culturas, como o milho e a laranja.

Foi inserido o valor total da produção de cana-de-açúcar para compreensão da influência que sofre com as alterações no padrão atmosférico. Pode-se observar a ocorrência de um relativo “*atraso*” produtivo na lavoura que pode estar associado à pluviosidade, sobretudo nos períodos de 1994-1995 e 2006-2008, uma vez que, mesmo com o aumento da área plantada, a produção não sofreu alteração positiva, apresentando, inclusive, leve redução quantitativa (Figura 45).

Figura 45. Área total plantada e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fim de estabelecer essa relação, o primeiro índice calculado foi o PRCPTOT, pelos valores acumulados de chuva e a produtividade para o mesmo período.

Este índice expressa o total pluviométrico anual nas três estações selecionadas. Neste, pode-se observar que o valor médio das chuvas anuais é de, aproximadamente, 1.460mm. Tais valores são utilizados como base para o entendimento de períodos chuvosos, secos ou normais, conforme expresso pela Figura 46.

Figura 46. Precipitação total anual e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se, ainda, que no período de 2010-2014, mesmo com o aumento da área plantada (em sua maioria), a produção se manteve estável ou foi reduzida. Já o “atraso” produtivo também foi nítido (Figuras 45 e 46).

Neste período, notou-se a maior escassez hídrica causada pela redução quantitativa das chuvas anuais, o que certamente interferiu no aumento do estresse hídrico e, nesse caso, ocasionou a redução da produtividade canavieira.

Também foi calculado o índice SDII para verificar a relação entre a intensidade pluviométrica anual e a relação produtiva.

Este índice expressa o valor médio anual de intensidade das chuvas. Por meio dele pode-se observar a flutuação das chuvas ao longo dos anos nos dias chuvosos sendo que, para as estações, o valor médio foi de 14 mm, ou seja, nos dias em que houve chuva, a média diária foi de 14 mm entre as estações, conforme observado na Figura 47.

Figura 47. Intensidade simples, diária, das chuvas (SDII) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em função dos dados faltosos, que excederem 5% na estação climatológica INMET, o ano de 1999 fora descartado neste índice, contudo, as outras estações encontraram-se com valores dentro do esperado.

Também, nesta metodologia fica evidente que a produção da cana-de-açúcar sofre maior influência da área plantada que da intensidade das chuvas quando ocorrem nos parâmetros habituais observados.

Entretanto, quando é feita uma avaliação do impacto ocasionado pela redução da intensidade das chuvas nos dias úmidos, é evidente a redução da produção em alguns períodos, como o caso de 2011-2014, ou ainda de 2003-2004, que acusaram uma possível associação entre a retração produtiva e a intensidade das chuvas.

Vale ressaltar que, por meio deste índice, é possível compreender a evolução da intensidade das chuvas diárias, o que pode ser um fator determinante para a estimativa da capacidade produtiva e sua relação com períodos recorrentes de escassez hídrica (anos secos).

A fim de analisar o comportamento dos dias consecutivos secos e chuvosos nas estações, anualmente, com a produção agrícola, foram calculados os índices DCS e DCU, para os dias secos e chuvosos (úmidos), respectivamente.

Nestes, vale ressaltar, que se observam os valores máximos calculados dentro de um ano, ou seja, expressam o número máximo de dias sem ou com chuva em um ano.

Para tanto, tais índices contribuem para a verificação de longos períodos de estiagem ou períodos em que as chuvas permaneceram durante vários dias que, nesse caso, pode-se associar ao fenômeno de ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; LIEBMANN; JONES; DE CARVALHO, 2001; LIEBMANN et al., 1999; QUADRO et al., 2012; ZANDONADI et al., 2016).

As observações mais significativas se associam aos DCS, uma vez que longos períodos de estiagem se mostraram marcantes, sendo o valor médio anual, para as estações, de aproximadamente, 43 dias. Com isso, nota-se que é recorrente tais períodos e, na série histórica observada, notou-se, ao menos, 1 mês contínuo sem chuvas.

No período de 1994-1995, os valores chegaram a dois meses ou mais. Nos períodos de 1997, 2002, 2004, 2007, 2010, 2011, 2013 e 2014, observa-se períodos marcantes de estiagem nos quais pode-se observar uma relação com a retração produtiva mesmo que a área cultivada não tenha diminuído, como expresso na Figura 48.

Figura 48. Dias consecutivos secos (DCS) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos anos de 1994, 2007 e 2013-2014 a recorrência de longos períodos de estiagem expressaram a redução da produtividade (toneladas), o que reafirma a relação entre anos secos e o estresse hídrico na produtividade agrícola.

Em relação aos DCUs nota-se que, apesar de alguns valores mostrarem-se acima do valor médio base de, aproximadamente, 8 dias, a recorrência desses valores reafirma a maior ou menor influência dos fenômenos da ZCAS na série histórica, cuja manifestação pode ser melhor observada junto ao índice RX 5 dias.

Ainda, se destaca o fato de que o aumento da produção de cana-de-açúcar, neste caso, se associa diretamente à expansão da área plantada, expresso pela Figura 49.

Figura 49. Dias consecutivos úmidos (DCU) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos principais índices e que tem forte relação com a produtividade, foi o RX de 5 dias. O índice RX 5 dias, bem como o descrito acima, se associa claramente à ocorrência da ZCAS na região sudeste do país e na microrregião de São Carlos/SP. Contudo, a recorrência de valores que sejam significativos para influir no aumento da produtividade agrícola não fica claramente evidenciados.

Diante disso, em poucos casos pode-se observar a associação entre esses eventos e o desempenho da lavoura canavieira. Os valores médios, entretanto, são interessantes, uma vez que a resposta do cálculo desse índice é mensal e, notou-se um valor médio de, aproximadamente, 156 mm entre as estações.

No período chuvoso (Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março), ocorrem os valores mais intensos, e as estações registraram, aproximadamente, 95 mm nestes meses, o que ressalta a ocorrência de episódios chuvosos prolongados.

Nos anos de 1995, 2000 e 2011, pode-se observar melhores associações entre a ocorrência de tais períodos prolongados de chuvas e o aumento da produção de cana-de-açúcar na microrregião. E, no período de 2013-2014, mesmo com o aumento produtivo total a produtividade média decresceu, e os dados das estações mostraram valores abaixo da média para o RX5 dias, o que reafirma a ocorrência de um período de estiagem marcante, conforme expresso por meio da Figura 50.

Figura 50. Valores máximos de chuva acumulada em 5 dias consecutivos (RX5 dias) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com isso, vale ressaltar o papel das teleconexões que, nesse sentido, subsidiam a compreensão da flutuação climática por meio de dados oceânicos do Atlântico e do Pacífico, como a OMA (Oscilação Multidecadal do Atlântico), as fases do *El Niño* – ENSO e *La Niña*, a ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), entre outros aspectos que

evidenciam a interação Oceano-Atmosfera-Continente (VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

No Brasil, a região sudeste expressa significativa relevância nessa análise, que pode ser verificada por meio de sua influência em tendências para o aumento ou diminuição das temperaturas, bem como nas tendências dos volumes de chuvas (KAYANO; ANDREOLI; FERREIRA DE SOUZA, 2013; KAYANO; CAPISTRANO, 2014; PSCHIEDT; GRIMM, 2009; VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Ressalta-se que, desde 1994, há baixa variabilidade no volume das chuvas. Contudo, notam-se tendências positivas e/ou negativas associadas à interação Oceano-Atmosfera-Continente, em que se observam as teleconexões nos dados da série histórica para a região de estudo, como no ano 2000, onde se observou tendência negativa para o Pacífico (La Niña) e o acréscimo no valor de RX 5 dias, fator associado à possibilidade do aumento nos acumulados pluviométricos (VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Já para os anos de 1995 a 1999, observou-se tendência positiva para o Pacífico (El Niño) e que culminou na retração dos acumulados de chuvas na PRCPTOT, RX 1 e 5 dias, e no aumento dos DCS, enquanto os valores de DCS de apresentaram de maneira semelhante aos outros índices, sendo que, o número máximo de dias consecutivos secos na série histórica chegou, em alguns anos, a 80 dias consecutivos sem chuvas.

Neste estudo observou-se, portanto, que a produção de cana-de-açúcar na microrregião de São Carlos/SP sofreu alterações quantitativas e que, nesse contexto, se associam à alterações no regime das chuvas

Em relação à discussão quanto ao aumento ou retração produtiva da cana-de-açúcar na região, nota-se que a expansão das áreas de plantio foi o fator de maior influência na capacidade produtiva.

Tais aspectos se reafirmam, também por meio da comparação dos índices climáticos com a produtividade (ton/ha), conforme observados nas Figuras 51, 52 e 53.

Figura 51. Precipitação anual acumulada (PRCPTOT) e a produtividade (ton/ha) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52. Máximo de dias consecutivos secos (CDD) e a produtividade (ton/ha) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53. Intensidade pluviométrica diária (SDII) e a produtividade (ton/ha) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que a metodologia dos “*Anos Padrões*” reafirma a manifestação de um momento diferenciado nos padrões atmosféricos da área a partir do verão iniciado em 2013 e finalizado em 2014, pois, em nenhum outro período da série histórica considerada, se repete a classe “*Ano Seco*”, evidenciando o retorno de uma conjuntura cíclica. Como verificado, decorre-se da ação da ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul) dificultando a formação da ZCAS e a passagem de frentes frias pela região.

Tais aspectos climáticos impactaram, portanto, no desempenho da cultura canavieira em alguns períodos dentro da série temporal analisada, demonstrando que o estresse hídrico tem maior influência sobre o desempenho da planta que seu excesso (períodos chuvosos) – considerados os valores apresentados no estudo. Assim, a manter-se o padrão habitual e os índices pluviométricos coerentes com o tipo climático da área.

Uma consideração de destaque se dá para a atenção que os produtores da microrregião devem destinar às ações mitigadoras que venham a compensar a carência de água em períodos excepcionais para o desenvolvimento da planta (associados à sazonalidade da precipitação), bem como em sua evolução temporal, como observado pelos índices climáticos e, até, por meio das teleconexões.

Além disso, enquanto o excedente hídrico não superar os índices pluviométricos ocorridos na área de estudo (até o presente momento), pesará mais sobre o desempenho da safra da cultura canavieira o estresse hídrico decorrente de um prolongamento da estiagem sazonal já esperada para o clima Tropical que prevalece nesta porção do território brasileiro, sobretudo se o prolongamento alcançar o período hidrológico (outubro-março).

Em tempo, novos estudos na área de agroclimatologia devem alicerçar as observações apontadas pelo presente estudo, que podem ser motivados pela melhor compreensão do estresse hídrico junto ao desenvolvimento dessa cultura agrícola, os impactos econômicos da sazonalidade produtiva, o planejamento produtivo, entre outros.

6.3.2 Índices climáticos e chuvas intensas no município de Alfenas/MG no período de 1984-2016.

Esse estudo foi publicado como parte do dossiê climatológico para o Estado de Minas Gerais, como uma edição especial da RBClima, no ano de 2018.

O trabalho foi realizado em parceria com a Universidade Federal de Alfenas/MG (UniFAI) e com o núcleo de climatologia (CRHEA/EESC/USP).

Nesse, foram aplicados os cálculos dos índices do RClimdex para o município de Alfenas/MG, como ferramenta para analisar o comportamento das chuvas em uma das principais regiões produtoras de café do sudeste brasileiro, o sul de Minas Gerais.

As observações feitas pelo artigo corroboram, diretamente, junto à compreensão da dinâmica do clima nessa área, uma vez que os eventos chuvosos são balizados em seu comportamento normal, intenso e extremos, o que implica em melhores práticas junto à tomada de decisão na esfera pública de caráter emergencial no espaço urbano e rural (SOUZA; SANCHES; SANTOS, 2018)

O estudo não exclui a necessidade de outras variáveis que deem suporte para a identificação dos eventos extremos, bem como a participação das chuvas intensas e seus impactos na região. Além disso, diferentes abordagens quanto ao panorama político também são necessárias., mas a ferramenta empregada nesse estudo, contribui para o reconhecimento da dinâmica atmosférica regional, bem como das ações antrópicas nos seus limites (SOUZA; SANCHES; SANTOS, 2018).

6.4 Análises de tendências para as chuvas diárias em São Carlos/SP

Diante dos apontamentos feitos anteriormente, notou-se a necessidade da verificação das tendências junto às chuvas na região de estudo, uma vez que a flutuação nos dados não permite a análise de previsões ou análises mais precisas sobre a oscilação dos volumes pluviométricos diários.

A fim de analisar o comportamento das chuvas na série histórica em momentos tendentes à chuvosos ou secos, foram realizados dois estudos, sendo:

- I. Analysis of daily rainfall in São Carlos/SP over 1979-2017 using Laplace Trend Test (Análise das chuvas diárias em São Carlos/SP, 1979-2017 por meio do teste de tendência de Laplace);
- II. Trends of intense and extreme daily rainfall events in São Carlos/SP, 1979-2017 (Tendências das chuvas diárias intensas e extremas em São Carlos/SP, 1979-2017).

O primeiro estudo consistiu na análise das tendências das chuvas na área de estudo, em sua totalidade. Já o segundo estudo expressou a análise de tendência apenas para as chuvas intensas e extremas, bem como para o número de dias com esses eventos.

Essa seção está organizada, portanto, em duas partes, sendo dividida entre os dois estudos e seus respectivos resultados.

6.4.1 Análise das chuvas diárias em São Carlos/SP, 1979-2017 por meio do teste de tendência de Laplace (Analysis of daily rainfall in São Carlos/SP over 1979-2017 using Laplace Trend Test).

O objetivo deste estudo foi analisar as tendências pluviométricas das chuvas diárias na região de São Carlos/SP, área de estudo descrita anteriormente, por meio do teste de Laplace, descrito junto aos métodos.

O estudo também investigou possíveis correlações com o comportamento oceânico, por meio de dados diários de chuvas, por meio de uma análise qualitativa (VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Diversas pesquisas analisaram a distribuição temporal das chuvas, bem como suas tendências temporais, como pela tendência de aumento nos volumes pluviométricos que já fora observada no Estado de São Paulo, especialmente para os valores extremos, mesmo sem observar os recentes períodos secos, ou seja, de estiagem prolongada (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; LIEBMANN; JONES; DE CARVALHO, 2001; LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010; SILVA DIAS et al., 2013; ZILLI et al., 2017).

Além disso, o caráter climático regional contribui para a compreensão das especificidades regionais dessa junto ao Estado de São Paulo. Para tanto, analisar a tendência de aumento/diminuição nas chuvas, o aumento no número de episódios extremos de chuvas (acima de 40 mm), por sua magnitude e frequência, o aumento dos valores diários pluviométricos e as mudanças observadas no último século para as chuvas no sudeste brasileiro foram alguns dos esforços apontados em tais estudos regionais (MARENGO et al., 2010, 2012; SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009; ZILLI et al., 2017).

O dinamismo pluviométrico na região sudeste do Brasil, conforme descrito anteriormente, se verifica nos diferentes mecanismos atmosféricos, como a ZCAS, SFs, além da influência de anomalias oceânicas de temperatura, em que se observa elevada vulnerabilidade das mudanças nos volumes pluviométricos, especialmente em chuvas intensas e extremas (CAVALCANTI, 2012; HAYLOCK et al., 2006; LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010; MUZA et al., 2009; RAO et al., 2016; SERRA et al., 2014).

Verificou-se, também, a predominância de eventos extremos, na região, por sistemas frontais, em 53% (LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010), o aumento nos volumes de chuvas em função das anomalias oceânicas e do padrão de urbanização (CAVALCANTI, 2012; KAYANO; ANDREOLI; FERREIRA DE SOUZA, 2013; ZILLI et al., 2017) e, até, as mudanças no período de início e fim das estações chuvosas (RAO et al., 2016; RAO; HADA, 1990).

Além disso, observam-se diversos apontamentos para mudanças no padrão regional das chuvas, no sudeste brasileiro e, especificamente, no Estado de São Paulo, inclusive seus efeitos urbanos e de relevo. Dentre esses, se sugeriu o aumento nos dias chuvosos com baixo volume pluviométrico (HAYLOCK et al., 2006), a concentração do volume de chuvas em um menor número de dias chuvosos no Estado de São Paulo (DUFEEK; AMBRIZZI, 2008), além de suas mudanças em padrões extremos (ZILLI et al., 2017).

Em função do caráter regional, no interior do Estado de São Paulo, região próxima à área objetivada pelo presente estudo, notam-se apontamentos para alterações nos regimes de chuvas totais, interanuais e extremos, além de ressaltar a influência das anomalias oceânicas nessa área (BLAIN, 2011, 2013; SANCHES et al., 2018; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017; SANTOS et al., 2012; YOULTON et al., 2012), que reafirmam a necessidade em se observar a evolução temporal e as tendências para as chuvas nessa.

Para determinar as tendências pluviométricas diárias na área de estudo foi analisada a série histórica 1979-2017, conforme descrito nos materiais, anteriormente. Vale ressaltar que algumas estações não apresentaram o mesmo tamanho da série de dados, porém, realizados os mesmos cálculos.

Os dados pluviométricos diários foram organizados em planilhas e tratados individualmente, descartando os dados faltosos, a fim de estabelecer o controle de qualidade desses. Para tanto, se realizaram os cálculos dos mesmos sem preenchimento dos períodos faltosos. Posteriormente, foram feitos os cálculos de análise de tendência de Laplace para as séries históricas dos sete postos pluviométricos organizando-os em gráficos, separadamente, a fim de compreender os aspectos locais e regionais das tendências das chuvas em São Carlos/SP.

A discussão dos resultados foi feita em função da(s):

- análises de precipitação global, ou seja, para toda a série histórica, considerando todas as estações pluviométricas combinadas;
- análises globais de precipitação nas estações pluviométricas, individualmente (sob a escala climática local);
- análise local das precipitações, em períodos que compreendem as tendências mais positivas (e negativas) para as séries históricas, com ênfase para as estações pluviométricas que apresentaram maior consistência dos dados.

Os valores de $u(t)$, que ocorrem dentro do intervalo entre +2 e -2, são considerados tendências normais, isto é, sem aumentar ou diminuir. Por sua vez, valores acima de +2 indicam uma tendência crescente e, abaixo de -2, uma tendência decrescente. A análise global expressa os valores totais da série analisada, enquanto a análise local expressa os valores que indicam aumento ou diminuição da variável (CHRUN, 2011).

Após o cálculo das tendências de precipitação para a região, que foram mais pronunciadas nos anos iniciais da série histórica adotada (1979-1990), verificou-se uma significativa flutuação interanual nas estações, conforme observado na Figura 54, e que se associa às alterações mais ou menos sensíveis nos oceanos (CAVALCANTI, 2012; KAYANO; ANDREOLI; FERREIRA DE SOUZA, 2013; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Figura 54. Tendência de Laplace para os postos pluviométricos em São Carlos/SP.

Fonte: Elaborado pelo autor

Desde a década de 1990, o comportamento das tendências de precipitação pluviométrica entre as estações pluviométricas aprofundou aspectos locais, ou seja, até então, as estações apresentavam comportamento semelhante, quantitativamente. No entanto, as disparidades entre as estações têm sido significativas desde então.

Vale ressaltar que as tendências globais de precipitação começaram a declinar em 1987 e, a partir da década de 1990, a maioria das estações já apresentava tendências negativas em relação aos volumes de chuva, que se intensificaram a partir de 1994.

As tendências para o período 1979-1984 mostraram ser as mais significativas considerando o aumento das chuvas, assim como sua abrupta mudança tendendo a diminuir. Tal período representou grande variabilidade nos volumes de chuvas e, em 1983, foi observado o maior valor das tendências positivas.

Entre as principais razões para tal variabilidade estão as influências oceânicas através de teleconexões, nas quais as precipitações apresentaram variações interanuais consideráveis. Esses dados coincidem com as fases positiva e negativa (aquecimento e resfriamento, respectivamente) dos oceanos, particularmente do Pacífico, pela Oscilação

Decenal do Pacífico (ODP) e Oscilação do Sudeste do Pacífico (SEPO) - El Niño e La Niña, respectivamente (VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Durante o período 1982-1983, foram registrados os valores mais significativos da tendência positiva (aumento) para a série histórica (e entre as estações pluviométricas). O período foi caracterizado pela intensificação das chuvas no Sudeste do Brasil, que coincidiu com o *El Niño*, devido a incrementos na temperatura da superfície oceânica (VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Os resultados obtidos indicam que, nos períodos 1979-1981 e 1984-1985, a precipitação apresentou tendência negativa, coincidindo com o período de tendência negativa para o fenômeno *La Niña*, devido à redução da temperatura da superfície oceânica (VÁSQUEZ P. et al., 2018).

As tendências negativas tornaram-se expressivas a partir dos anos 1990, e apenas as estações pluviométricas do Ribeirão Feijão e da Fazenda Água Branca mantiveram uma tendência positiva. Desde a década de 2000, apenas a estação do Ribeirão Feijão mostrou tendência normal ou positiva.

O período 2014-2015, no entanto, mostrou-se o mais expressivo em relação à tendência decrescente, considerando as características atmosféricas regionais. O intervalo incluiu uma seca prolongada e foi classificado como "*seco*", o que contribuiu para os impactos hidrológicos na região (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017).

Durante o período, a redução nas tendências de precipitação também foi associada às teleconexões, uma vez que, apesar da fase neutra do Pacífico, a ODP passava por uma mudança entre as fases (negativa a positiva), o que contribuiu para a diminuição do volume das chuvas. Com o tempo, a redução das tendências para os valores globais de precipitação também é observada na região de São Carlos/SP.

A Figura 55 mostra as tendências globais em sua distribuição espacial através das estações.

Figura 55. Tendências pluviométricas nas estações de São Carlos/SP, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

I. Análise global de tendências pluviométricas em estações, individualmente

O presente estudo analisou as tendências individuais das estações pluviométricas devido à variabilidade das tendências de precipitação observadas entre elas.

A primeira estação analisada foi a Fazenda da Barra, que apresentou a consistência dos dados mais significativos e menor número de erros, na série histórica e entre as estações observadas no estudo.

Durante os anos iniciais da série, os valores do coeficiente de Laplace permaneceram em torno de -20, denotando o menor valor em toda a série histórica. No entanto, nos anos seguintes, observou-se um aumento nas tendências globais de chuvas, evidenciadas no período 1982-1983, como mostra a Figura 56.

Figura 56. Tendência de Laplace para a estação Fazenda da Barra, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após esse período, as tendências negativas persistiram até 1993-1994 e, apesar de algumas flutuações, permaneceram normais até o ano 2000.

A partir do início da década de 2000, verificaram-se tendências negativas para todos os outros anos da série histórica, evidenciando uma tendência decrescente do volume de chuvas.

Apesar das flutuações entre períodos de seca e estações chuvosas a cada ano, aproximadamente 52% dos anos da série foram positivos ou neutros. Assim, apenas dez anos apresentaram tendências positivas, representando cerca de 26% da série.

A estação pluviométrica de Santa Eudoxia também apresentou comportamento semelhante ao local anterior. No entanto, suas tendências negativas mais duradouras expressaram uma redução significativa no volume de chuvas (Figura 57).

Figura 57. Tendência de Laplace para a estação Santa Eudoxia, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendências negativas também estiveram presentes nos primeiros anos da série na estação mencionada anteriormente, e apenas nove anos da série apresentaram tendências positivas (aproximadamente 23% dos anos).

No período 1987-1991, as tendências variaram de neutras (normais) a decrescentes. Desde 1991, os valores da precipitação diminuíram a cada ano, denotando uma tendência de redução no volume de chuvas nesta estação também, especialmente durante 2006-2007 e 2014-2015, com tendências ainda mais baixas.

A estação pluviométrica da Fazenda Santa Bárbara exibiu características semelhantes às demais estações. No entanto, as tendências negativas desde 1992 mostraram valores ainda menores de $u(t)$, que representaram o menor entre as estações analisadas (Figura 58).

Figura 58. Tendência de Laplace para a estação da Fazenda Santa Bárbara, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apenas 12 anos da série exibiram uma tendência normal ou crescente, representando aproximadamente 31% dos dados anuais. A partir da década de 1990, as tendências pluviométricas indicaram a redução da precipitação anual, conforme observado na Tabela 10.

Tabela 10. Descrição dos dados de tendência da estação Fazenda Santa Bárbara.

Tendências pluviométricas – Estação Fazenda Santa Bárbara	
1979-1987	Normal e/ou aumento
1988-1991	Normal e/ou diminuição
Tendências pluviométricas – Estação Fazenda Santa Bárbara	
1992-2017	Diminuição (mais evidente em 2008, 2014 e 2015)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos anos de 2008, 2014 e 2015, as tendências negativas tornaram-se ainda mais evidentes, reforçando a análise anterior de teleconexão.

Por outro lado, a estação pluviométrica da Fazenda Água Branca registrou flutuações nos valores de tendência ao longo da série, especialmente entre 1985 e 2007. O período 1985-1995 expressou tendências negativas e / ou valores dentro da normalidade (Figura 59).

Figura 59. Tendência de Laplace para a estação da Fazenda Água Branca, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores observados no período 1996-2007 exibiram um comportamento crescente ou normal, com destaque para o ano 2000, que manteve a maior tendência positiva para esta estação ao longo do período 1985-2017.

No entanto, a partir de 2007, observou-se uma irregularidade substancial no comportamento das tendências de chuvas e, a partir de 2011, a tendência foi consideravelmente negativa (abaixo de -20). O período 2014-2015 caracterizou-se por manter a tendência negativa mais significativa em toda a série de dados analisados.

Apesar de alguns anos com falhas, o comportamento das tendências de precipitação na estação do INMET/UFSCar foi semelhante às demais, especialmente no período 1982-1984, em que os valores foram mais positivos, globalmente, em relação ao incremento nos volumes pluviométricos (Figura 60).

Figura 60. Tendência de Laplace para a estação INMET/UFSCar, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se, ainda, que o intervalo 1992-2006 apresentou valores positivos ou normais considerando a tendência de precipitação, e, como observado em outras estações da região, foi possível verificar uma tendência decrescente de chuvas nos últimos anos.

Durante o período de 2013-2017, os valores negativos evidenciaram a característica comum entre a estação pluviométrica do INMET e as outras cinco estações, denotando redução do volume de chuvas nos últimos anos, independentemente de sua sazonalidade anual.

As outras duas estações pluviométricas analisadas não apresentaram a mesma delimitação temporal. A estação de Ribeirão Feijão teve dados registrados até 2016, enquanto a estação Usina Capão Preto apresentou dados até 2014.

No entanto, para atribuir maior robustez ao seu caráter espacial, ambas as últimas estações passaram por cálculos. Como resultado, a estação do Ribeirão Feijão foi a única que exibiu normalidade dos dados na maior parte dos anos da série (Figura 61).

Figura 61. Tendência de Laplace para a estação do Ribeirão Feijão, 1979-2016.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, o período 1982-1985 mostrou tendências positivas para o aumento da precipitação. Como a estação do Ribeirão Feijão foi a única que transmitiu essa continuidade, representa um dos mais complexos do grupo.

Durante o período de 2008 a 2016, a estação do Ribeirão Feijão manteve-se neutra e/ou aumentou em relação às tendências de chuvas, contrastando localmente com as demais estações.

Não obstante, o objetivo aqui não era entender qual efeito local contribuiu para tal característica, tal característica regional poderia ser justificada pelo efeito de elevação da região (microescala) e possivelmente pelo efeito de fundo do vale onde a estação está localizada.

A estação pluviométrica da Usina Capão Preto foi a única que não apresentou valores pluviométricos diários adequados para a série histórica total. No entanto, apesar de manter dados consistentes apenas até 2014, tal fato não implicava nenhuma perda extensiva de dados.

A estação mencionada apresentou um comportamento oscilante significativo durante os primeiros anos calculados (1979-1984). No entanto, as demais estações pluviométricas registraram valores positivos de tendência no período, conforme mostra a Figura 62.

Figura 62. Tendência de Laplace para a estação Usina Capão Preto, 1979-2014.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, entre 1985 e 2000, as flutuações entre os valores de tendências normais e os anos de tendência negativa reforçam o contexto de maior consistência e menor variabilidade de precipitação, como descrito anteriormente para todas as outras estações pluviométricas.

Durante o período de 2001 a 2014, os autores verificaram valores de tendência negativa em relação aos dados pluviométricos, caracterizando uma tendência decrescente nos valores de precipitação nos últimos anos observados na estação.

Vale ressaltar que o ano de 2014 não apresentou menor valor em relação à tendência negativa (como nas demais estações). Por sua vez, os valores obtidos durante aquele ano indicam uma diminuição na precipitação acumulada para a região.

II. Análises locais das estações com as séries de dados mais consistentes

As análises locais expressam as tendências para períodos de anos em que as chuvas apresentaram valores mais substanciais de tendência crescente ou decrescente ao longo da série adotada.

As estações foram selecionadas de acordo com o critério de maior qualidade de dados (menos erros) e:

- A que apresentou as tendências negativas mais evidentes, dentre as quais a estação Fazenda da Barra foi escolhida;
- A que apresentou, apenas, tendências positivas na série de dados, na qual a estação do Ribeirão Feijão foi escolhida.

A análise local foi calculada, individualmente, nos intervalos dos períodos em que as tendências apresentaram alteração nas séries temporais (para diminuição, para estabilidade, estabilidade para aumento, por exemplo).

Sendo assim, a análise dos dados locais da Estação da Fazenda da Barra foi organizada em três períodos: 1979-1985, período caracterizado por tendências globais ascendentes; 1986-2001, período de maior flutuação entre anos com tendências normais ou negativas; 2002-2017, um período que apresenta uma tendência negativa contínua.

No período 1979-1985, notaram-se significativas oscilações nos dados, contudo, o maior volume de tendência positiva se concentrou em 1983, o que justifica as observações anteriores, como o período mais chuvoso da série de dados, em todas as estações (Figura 63).

Figura 63. Análise local da tendência de Laplace para a estação Fazenda da Barra. 1979-1985.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As flutuações nos demais anos, podem ser explicadas pelo caráter sazonal do clima na região, em que se nota um período de chuvas (período hidrológico), e um período de estiagem (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017). Apesar disso, localmente, notaram-se tendências de aumento nas chuvas para o período.

A flutuação mais considerável nos dados de tendências globais foi observada no período 1986-2001. As oscilações mais significativas da análise local foram registradas até 1989, o que expressa a continuidade das ocorrências em anos anteriores, conforme observado na Figura 64.

Figura 64. Análise local da tendência de Laplace para a estação Fazenda da Barra. 1986-2001.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, de 1990 a 2000, o comportamento flutuante dos dados mostrou-se dentro da normalidade, ou seja, as séries continham períodos chuvosos com valores de tendência positivos e períodos de seca com tendência negativa, evidenciando a sazonalidade natural do clima da região.

Durante o período de 2000 a 2001, independentemente da sazonalidade, as tendências de redução dos volumes pluviométricos foram observadas.

Os últimos anos da série apresentaram um comportamento diferente em relação às análises globais. Apesar das profundas oscilações nos anos de 2002 a 2004, as tendências foram positivas, considerando a sazonalidade climática (Figura 65).

Figura 65. Análise local da tendência de Laplace para a estação Fazenda da Barra. 2002-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses elementos representam valores normais de tendência durante os anos finais da série de dados adotada.

No ano de 2014, conforme discutido anteriormente, foi verificada uma tendência negativa para a precipitação. No entanto, de 2015 a 2017, as tendências locais de precipitação apontaram para valores positivos e/ou dentro dos limites esperados.

Assim, pode-se entender que, na análise conjunta dos dados (análise global), as tendências tenderam a uma redução nos volumes pluviométricos. No entanto, a observação destacada dos períodos indica que os anos “secos”, que apresentam tendências negativas, apresentaram comportamento normal.

Para tanto, foram destacados dois períodos de análise local para a estação do Ribeirão Feijão: 1979-1985, com as tendências positivas mais significativas; e 1986-2016, com flutuações mais próximas da normalidade ou positivas.

As flutuações anuais e interanuais no período de 1979 a 1985 apresentaram tendências positivas, sendo 1983 o ano mais característico em função de seus valores pluviométricos

significativos, que se mantiveram até o período hidrológico de 1985, quando a sazonalidade apontava tendências decrescentes (Figura 66).

Figura 66. Análise local da tendência de Laplace para a estação do Ribeirão Feijão. 1979-1985.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro período, observaram-se expressivas flutuações, uma vez que a sazonalidade representou valores excepcionais em relação à estação chuvosa, devido a sua tendência, seguida de uma diminuição abrupta nos valores de tendência para o período de estiagem.

O período 1986-2016, no entanto, mostrou flutuações dentro da normalidade na maioria dos anos ou com tendências positivas em direção a um aumento na precipitação (Figura 67).

Figura 67. Análise local da tendência de Laplace para a estação do Ribeirão Feijão. 1986-2016.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tais afirmações são evidentes, pois apenas seis anos apresentaram valores com tendências negativas no intervalo, representando 20% do período.

Além disso, a partir de 2013-2016, observou-se um comportamento distinto das demais estações pluviométricas, inferindo diferentes comportamentos climáticos locais. Vale ressaltar que não foram verificados, por outros meios, o que implicaria em tal aumento nos valores pluviométricos.

No entanto, de acordo com o caráter geomorfológico e hidrológico da região, provavelmente está associado ao fenômeno '*fundo de vale*', uma ocorrência proeminente no aspecto microclimático (e mesmo mesoclimático), o que implica em significativa variabilidade térmica e pluviométrica, como bem como sua correlação com fenômenos convectivos (AMORIM, 2004; MARTINS, L.F., 2014; SHARON; KUTIEL, 1986).

A observação de tendências em pluviometria por meio de dados históricos é da grande valia junto à interpretação do seu comportamento temporal e espacial. Com isso, ressaltase que o método utilizado (teste de Laplace) se mostrou eficaz para nortear a distribuição das chuvas, anualmente, em estações climatológicas.

Considerando tais aspectos, verificou-se o comportamento temporal das chuvas em São Carlos/SP, a fim de interpretar as tendências pluviométricas para essa região, uma vez que as discussões acerca de sua intensificação tem se mostrado de grande interesse para a climatologia regional (ABREU; SOBRINHA; BRANDÃO, 2017; MARENGO et al., 2010; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Com isso, observa-se a tendência para a redução das chuvas na região de São Carlos/SP, conforme observado no Estado de São Paulo (DUFEK; AMBRIZZI, 2008), mesmo com o uso de diferentes estações (séries de dados) e métodos para sua análise.

Tal redução, no entanto, apresentou grande variabilidade na década de 1980, reafirmando a influência macroclimática nas chuvas para a região. Além disso, o estudo se destaca em função do uso de dados diários de precipitação, além de expressar uma escala espacial local (microrregião do Estado).

Este método é eficiente para prever ou antecipar a precipitação acumulada ao longo dos anos (aliado aos dados de crescimento das estações) ou para analisar a probabilidade de recorrência de tais eventos para tomadores de decisão.

6.4.2 Tendências das chuvas diárias intensas e extremas em São Carlos/SP, 1979-2017 (Trends of intense and extreme daily rainfall events in São Carlos/SP, 1979-2017).

Este estudo consistiu em analisar as tendências para as chuvas intensas e extremas para as estações climatológicas em São Carlos/SP.

A dinâmica de tais eventos diários, conforme descrito anteriormente, é de grande interesse em estudos de clima (nas diversas escalas espaciais), bem como em seus efeitos junto ao espaço urbano e rural.

Para tanto, foram determinados os valores de chuvas intensas e extremas por meio da detecção de *outliers*, sendo os fatores de multiplicação 3, para as chuvas intensas, e 4 para as chuvas extremas (SANCHES et al., 2018; SOUZA; SANCHES; SANTOS, 2018).

Após a obtenção desses valores, foram calculados os testes de tendência (*Laplace trend factor*) para os dias chuvosos e para o volume de chuva, sendo:

- As tendências para valores de chuva entre 36 mm e 45 mm (chuvas intensas) e valores acima de 46 mm (chuvas extremas);
- As tendências para o número de dias de chuvas intensas e extremas (36 mm e 46 mm), respectivamente, na série histórica, com base nos valores limiares determinados nos *outliers* (SANCHES et al., 2018).

O número de dias com chuvas intensas e extremas foi calculado no *script* RClimdex, pelo índice *Rnn* (Tabela 2).

O teste de tendência de Laplace foi calculado apenas para dias chuvosos que foram entre 36 e 45mm (chuvas intensas) e para dias chuvosos acima de 46mm (chuvas extremas).

A interpretação das tendências obtidas também se realizou em dois níveis, como expresso pelo trabalho de tendências anterior (CHRUN, 2011), sendo:

- Globalmente: onde os valores do coeficiente de Laplace são maiores que +2 ou -2. Se os valores forem positivos (negativos), um aumento global (diminuição) na variância analisada observada. Valores entre -2 e +2 indicam estabilidade;
- Localmente: valores que aumentam (diminuem) indicam um aumento (diminuição) local da variável analisada.

Sendo assim, valores dentro da faixa +2 e -2 representam estabilidade global, enquanto valores fora desse intervalo estão relacionados a uma tendência (aumento ou diminuição). Analisando, assim, a Figura 2, é possível notar que a estabilidade ocorreu entre as semanas 1 e 22. Depois disso, uma tendência global decrescente pode ser observada (MIANI et al., 2015).

O estudo objetivou, portanto, analisar os valores de tendência das chuvas diárias intensa e extrema (36 mm e 46 mm, respectivamente), bem como o número de dias com volumes de chuva acima desses valores, obtidos por ambos, na série histórica 1979-2017.

Além disso, identificar tendências de aumento ou diminuição global da precipitação no período e, quando pertinente, analisar as tendências localmente.

Para destacar os aspectos quantitativos e temporais da dinâmica das chuvas, foram calculadas algumas estatísticas referentes às estações, conforme observado nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11. Estatísticas básicas de precipitação diária normal (até 35 mm) e da precipitação diária intensa (de 36 mm a 45 mm) nas estações.

Estação	Número de dias (normal/intensa)	Média diária (normal/intensa)	% anual (normal/intensa)	Média/Desvio Pad. (mm) - Normal	Média/Desvio Pad. (mm) - Intense	Acumulado (mm)
Sta. Eudoxia	3634/175	93.18/4.49	25.50%/1.22%	10.05/8.97	39.59/3.078	36507.8/6927.7
Faz. Sta. Bárbara	2726/203	69.90/5.21	19.10%/1.42%	12.71/9.38	39.32/2.747	34640.3/7982.3
Faz. Água Branca	3407/179	87.36/4.59	23.90%/1.25%	9.81/9.29	39.40/2.583	33412.3/7053.4
Faz. da Barra	3490/209	89.49/5.36	24.40%/1.46%	9.97/9.02	40.00/2.915	34794.0/8359
Rib. Feijão	4221/183	108.23/4.69	29.60%/1.28%	8.69/8.95	39.47/2.965	36683.6/7223.1
Usina Capão	3250/194	83.33/4.97	22.80%/1.36%	9.84/9.04	40.00/2.882	31968.9/7760.2
INMET (UFSCar)	4071/174	104.38/4.46	28.50%/1.22%	8.96/9.01	39.66/3.014	36478.8/6901.1
	Número de dias (normal/intensa)	Média diária (normal/intensa)	% anual (normal/intensa)	Média/Desvio Pad. (mm) - Normal	Média/Desvio Pad. (mm) - Intense	Acumulado (mm)
Média	3542.71/188.14	90.84/4.82	24.83%/1.32%	10.00/9.10	39.63/2.88	34926.5/7458.11

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12. Estatísticas básicas de precipitação diária extrema (acima de 46mm) nas estações.

Estação	Número dias (extremo)	Média (dias)	% (anual)	Média/Desvio Pad. (mm)	Acumulado (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Amplitude (mm)
Sta. Eudoxia	222	5.69	1.55%	61.68/17.44	13693.9	45.1	135.2	90.1
Faz. Sta. Bárbara	286	7.33	2.00%	63.31/17.97	18106.1	45.1	183.2	138.1
Faz. Água Branca	231	5.92	1.62%	63.45/20.29	14657	45.1	185.3	140.2
Faz. da Barra	232	5.95	1.62%	62.65/18.51	14535.1	45.1	187.7	142.6
Rib. Feijão	225	5.77	1.57%	63.13/20.27	14203.3	45.2	183.4	138.2
Usina Capão	213	5.46	1.49%	61.96/16.79	13197.8	45.1	164.4	119.3
INMET (UFSCar)	212	5.44	1.48%	61.08/16.23	12950	45.1	143.1	98
Média	231.57	5.94	1.62%	62.47/18.21	14477.60	45.11	168.90	123.79

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 resume as estatísticas de precipitação normal (até 35 mm, diariamente) e das chuvas intensas (de 36 mm a 45 mm, diariamente), enquanto a tabela 12 apresenta estatísticas para chuvas extremas (mais de 46 mm, diariamente). Tais estatísticas evidenciam o caráter heterogêneo dos dados pluviométricos na região.

Além das tabelas, foram elaborados histogramas, incluindo a distribuição normal das chuvas total, normal, intensa e extrema, para as séries históricas (Figuras 68 e 69).

Figura 68. Histograma e distribuição normal da precipitação total (acima de 1mm) e das chuvas normais (até 35 mm) nas estações. 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 69. Histograma e distribuição normal das chuvas intensas (de 35 a 45mm) e das chuvas extremas (até 46mm) nas estações. 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os histogramas representam a intensidade das chuvas, bem como a frequência de sua ocorrência. Nestes, pode-se observar que as chuvas estão concentradas próximas a 15mm, 39mm (chuvas intensas) e 62mm (chuvas extremas), o que indica que a maioria das chuvas diárias apresenta, em média, 15mm, enquanto chuvas fortes apresentam 39mm e chuvas extremas, 62mm.

Além disso, a precipitação considerada normal (até 35mm) apresenta, em média, 10mm entre as estações, o que significa que, em média, nos dias chuvosos, se espera um volume dentro desses valores.

- Análise global de tendências de chuvas intensas e extremas nas estações

As chuvas intensas representam os valores pluviométricos de 36mm de precipitação diária até 45mm. Portanto, todos os valores são baseados no limite de 36mm.

O comportamento das chuvas intensas esteve dentro da normalidade em todas as estações analisadas, como verificado nas tabelas 11 e 12. Destaca-se, também, que os valores de chuvas intensas variaram entre as estações, ou seja, alguns deles registraram mais episódios de chuvas intensas.

Sta. Bárbara, Faz. As estações Da Barra, Ribeirão Feijão e U. Capão registraram o maior número de eventos pluviométricos acima de 36mm, enquanto o INMET / UFSCar, Sta. As estações Eudoxia e Água Branca registraram o menor número de episódios de chuva intensa.

Apesar das flutuações, todas as estações apresentaram valores de tendência dentro da normalidade. No entanto, as observações de anomalias climáticas indicam homogeneamente um aumento nas chuvas intensas (LEANDER; BUIHAND; TANK, 2013; ZILLI et al., 2017). As Figuras 70 e 71 expressam o comportamento individual das estações.

Figura 70. Tendências das chuvas intensas nas estações: (65a) Sta. Eudoxia; (65b) Faz. Água Branca; (65c) Ribeirão Feijão; (65d) INMET/UFSCar, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 71. Tendências das chuvas intensas nas estações: (66a) Sta. Bárbara; (66b) Faz. Da Barra; (66c) Usina Capão Preto, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como observado nas figuras anteriores, o comportamento das chuvas intensas ficou dentro da normalidade em relação às tendências, sugerindo que sua distribuição interanual ocorreu sem grande variabilidade.

No entanto, chuvas intensas (de 36 mm a 45 mm) e extremas (acima de 46 mm) apresentaram flutuações significativas nos dados interanuais, bem como entre as estações analisadas, como observado nas tabelas 11 e 12, bem como na Figura 64.

Contudo, o número de episódios (dias) de chuvas extremas foi maior, quando comparado com o número de episódios de chuvas intensas série histórica entre as estações.

Tal intensificação dos eventos extremos de chuvas em São Carlos/SP pode ser afirmada, considerando as tendências positivas analisadas nos dados diários.

Em estudos anteriores para a região, verificaram-se mudanças no padrão de precipitação e sua correlação com o ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) (TEIXEIRA;

SATYAMURTY, 2011; YOULTON et al., 2012), com a flutuação de *outliers* e seu aumento nos últimos anos (SANCHES, 2015; SANCHES et al., 2018), com o aumento da variabilidade das chuvas extrema (BLAIN, 2013) e com chuvas extremas mais frequentes próximo à região de estudo (SANTOS et al., 2012), o que corrobora com os resultados obtidos.

Destaca-se, ainda, que as intensas chuvas não apresentaram tal tendência crescente, permanecendo dentro da normalidade, como descrito anteriormente.

Dentre as principais justificativas para a intensificação desses episódios extremos, no entanto, estão as influências oceânicas através de teleconexões, nas quais a precipitação mostrou significativa variabilidade interanual, coincidindo com fases positivas e negativas (aquecimento e resfriamento, respectivamente) dos oceanos, por meio da Oscilação Decadal do Pacífico (DPO) e a Oscilação do Sudeste do Pacífico (ENSO), pelos períodos de *El Niño* e *La Niña* (GRIMM; TEDESCHI, 2009; KAYANO; ANDREOLI, 2007; LIEBMANN; JONES; DE CARVALHO, 2001; VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Analisando as estações, notaram-se tendências negativas para chuvas extremas em alguns períodos, como 1997-1998, quando o período *El Niño* exibiu uma anomalia que se associou à dinâmica das chuvas para o Estado de São Paulo (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2011).

No final da década de 1970 e início da década de 1980, registraram-se os maiores valores de tendência positiva (aumento) para a série histórica (e entre as estações pluviométricas), em que a precipitação se intensificou no sudeste brasileiro, coincidindo, também, com o *El Niño*, a fase positiva do Pacífico, devido ao aumento da temperatura da superfície oceânica (VÁSQUEZ P. et al., 2018).

Os eventos extremos, neste caso, coincidem com a estação chuvosa (SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017), e estão associados aos SFs e à ZCAS na região (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; LIEBMANN; JONES; DE CARVALHO, 2001). No entanto, outros fatores podem influenciar essas chuvas extremas, incluindo o arranjo de relevo regional (efeito orográfico) e os efeitos no *fundo do vale*, os quais devem ser verificados em estudos futuros.

Entre as estações analisadas, Água Branca, Sta. Bárbara, INMET / UFSCar e Ribeirão Feijão apresentaram a maior significância nas tendências positivas, conforme expresso pela Figura 72.

Figura 72. Tendências das chuvas extremas nas estações: (67a) Faz. Água Branca; (67b) Sta. Bárbara; (67c) INMET/UFSCar; (67d) Ribeirão Feijão, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As estações de Água Branca e Ribeirão Feijão foram as que mais se destacaram em relação às tendências positivas. No entanto, pode-se notar que, em anos que apresentaram estiagem prolongada, como em 2014 (SANCHES et al., 2018; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017), as estações apresentaram tendências negativas, com exceção do Ribeirão Feijão.

As tendências médias e/ou negativas se concentraram nas estações Sta. Eudoxia, Faz. da Barra e Usina Capão. No entanto, foram observadas flutuações significativas nos dados, bem como vários períodos de tendências positivas, conforme observado na Figura 73.

Figura 73. Tendências das chuvas extremas nas estações: (68a) Sta. Eudoxia; (68b) Faz. Da Barra; (68c) Usina Capão Preto, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diversos estudos apontam para o aumento no número de eventos de chuvas extremas. Nesses, enfatiza-se a tendência crescente de eventos diários de chuvas extremas (ABREU; SOBRINHA; BRANDÃO, 2017; GRIMM; TEDESCHI, 2009; LIMA; AMORIM, 2015; SANCHES et al., 2018; YOULTON et al., 2012), mesmo sem considerar os anos secos detectados no presente estudo, o que evidencia o caráter sazonal e regional das chuvas em região (ZILLI et al., 2017).

Tais mudanças também se verificaram em função do aumento de episódios diários com mais de 10mm (MARENGO et al., 2010) e 40mm (SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009) de precipitação, utilizando, no entanto, ferramentas diferentes da utilizada nesse estudo.

As tendências crescentes em eventos extremos se associam à(s): maiores volumes de chuva devido aos SFs e sua comparação com as ZCAS (CAVALCANTI, 2012; LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010), mudanças no padrão de uso e ocupação dos solos (CAVALCANTI, 2012; LIMA; AMORIM, 2015), alterações durante os períodos

inicial e final das estações chuvosas (RAO et al., 2016), e a influência das anomalias oceânicas (BARROS; DOYLE; CAMILLONI, 2008; CAVALCANTI, 2012; GRIMM; TEDESCHI, 2009; MUZA et al., 2009; VÁSQUEZ P. et al., 2018; YOULTON et al., 2012), entre outros.

No entanto, verificou-se que o indicativo de aumento em relação aos eventos de precipitação normal e extrema, bem como o incremento no número de dias chuvosos (HAYLOCK et al., 2006), não apresentaram o mesmo aspecto entre as estações analisadas.

Vale ressaltar, que as tendências positivas nessas estações representam um aumento no número de ocorrências de chuvas extremas em São Carlos/SP, na série histórica. Portanto, o uso do teste de tendência para estudar as tendências de precipitação, mostrou-se uma interessante ferramenta para identificar tendências pluviométricas em dados heterogêneos.

Tais considerações contrastam com as chuvas intensas (36mm a 45mm), uma vez que as tendências apontam para um aumento de fenômenos extremos de precipitação (acima de 46mm), embora as chuvas intensas permanecessem dentro da normalidade.

Em tempo, discute-se, apenas, as tendências do volume de chuvas (mm), o que confirma estudos anteriores sobre o aumento das chuvas extremas. Contudo, vale a pena destacar que a determinação de valores para chuvas intensas e extremas pela detecção de *outliers* expressa maior robustez estatística considerando a compartimentalização dos dados.

A fim de sintetizar espacialmente as tendências para a região analisada, foram destacadas as tendências das chuvas intensas e extremas entre as estações (Figura 74).

Figura 74. Mapa das tendências para as chuvas intensas e extremas nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fim de compreender a dinâmica das chuvas diárias, temporalmente, a próxima seção apresenta uma análise do número máximo de dias com precipitação acima de 36mm e 46mm, respectivamente, para entender sua possível concentração pluviométrica (mm) em mais ou menos dias.

- Análise dos índices R_{36mm} e R_{46mm}

O índice R_{nn} (R_{36} e R_{46}) indica o número máximo de dias em que a precipitação foi superior aos valores previamente estabelecidos de acordo com o *script* RCLimindex.

Diferentemente das observações anteriores, o cálculo desses índices é realizado diariamente e anualmente, ou seja, com base no monitoramento do número de dias com chuvas intensas e extremas, anualmente, entre as estações analisadas, durante a série histórica de 1979-2017.

Os limiares pluviométricos de 36mm e 46mm foram determinados por meio da detecção de *outliers*, conforme expresso anteriormente. Esses valores representam:

- *R36*, como valor limite para chuvas intensas, em que o número de dias entre 36 mm e 45 mm de precipitação diária é definido;
- *R46*, como o valor limite para chuvas extremas, em que o número de dias acima de 46 mm de precipitação diária é definido.

Após o cálculo dos índices, foram estabelecidas as tendências para o número de dias com chuvas intensas e extremas, respectivamente, na série histórica (1979-2017), conforme observado na Figura 75.

Figura 75. Tendências dos dias de chuvas intensas (R36mm) nas estações: (70a) Sta. Eudoxia; (70b) Faz. da Barra; (70c) INMET/UFSCar; (70d) Sta. Bárbara; (70e) Ribeirão Feijão; (70f) Água Branca; (70g) Usina Capão Preto, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em todas as estações, as tendências positivas em 1983, um ano reconhecidamente chuvoso, foram observadas, incluindo valores anuais acumulados.

No início da década de 2000, porém, verificou-se a redução das tendências no número de dias chuvosos, exceto na estação do Ribeirão Feijão.

Desde 2014, notou-se a tendência de redução esteve presente, mais uma vez, no número de dias de chuvas intensas em todas as estações. No entanto, vale ressaltar que essas flutuações ocorrem dentro da normalidade (Fazenda da Barra; Ribeira Feijão; Estação Eudoxia; Usina Capão).

As estações Sta. Bárbara e Água Branca apresentaram tendências de redução em relação ao número de dias de chuvas intensas nos últimos anos da série. Além disso, notou-se que

a estação Eudoxia exibiu comportamento semelhante, embora as tendências não tenham excedido o valor do limiar negativo.

Já a estação INMET/UFSCar foi a única que manteve tendências positivas em relação ao número de dias com chuvas intensas ao longo da série histórica.

Nesta análise, é importante ressaltar que as tendências para chuvas intensas estão dentro da normalidade, embora, ao se avaliar o número de dias de chuvas intensas, seja observada uma redução. Em outras palavras, as intensas chuvas não tendem a aumentar ou diminuir, embora o número de dias com tais valores tendesse a diminuir na maioria das estações.

Tal observação evidencia uma diminuição no número de dias com precipitação acima de 36mm, mesmo sem mudanças significativas nos volumes pluviométricos intensos. Já nos episódios extremos de precipitação (número de dias com chuva acima de 46mm, ou $R46$), no entanto, verificaram-se correlações distintas, como expresso pela Figura 76.

Figura 76. Tendências dos dias de chuvas extremas ($R46\text{mm}$) nas estações: (71a) Sta. Eudoxia; (71b) Faz. da Barra; (71c) INMET/UFSCar; (71d) Sta. Bárbara; (71e) Ribeirão Feijão; (71f) Água Branca; (71g) Usina Capão Preto, 1979-2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No início da década de 1990, as estações apresentavam tendências decrescentes no número de dias extremamente chuvosos, com exceção da estação INMET/UFSCar, que apresentou um aumento significativo nessas tendências, e da estação Sta. Eudoxia, onde tendências negativas foram mais expressivas.

Como observado anteriormente, nota-se uma tendência crescente no número de dias com chuvas intensas, o que coincide com os períodos de *El Niño*, como nos anos de 2002-2003, 2009-2010 e 2015-2016 (VÁSQUEZ P. et al., 2018). Nestes períodos, durante a fase positiva do Oceano Pacífico, há um aumento nas tendências de dias extremamente chuvosos.

No entanto, durante os períodos de *La Niña*, fase negativa do Oceano Pacífico, foi observada uma tendência de redução no número de dias com chuvas extremas.

Nos últimos anos da série de dados (especialmente os últimos cinco), a maioria das estações apresentou uma tendência de redução em relação ao número de dias com chuvas extremas.

Tais fatores contribuem para a constatação de que as tendências do número de dias com chuvas extremas não se comportam da mesma forma que a intensificação das chuvas extremas ao longo das séries analisadas.

Portanto, é notável que as chuvas extremas estejam se intensificando no volume diário de chuvas. No entanto, o número de dias com chuvas extremas apresentou tendência decrescente nos últimos cinco anos, na maioria das estações avaliadas.

Essa situação caracteriza o fato de as chuvas estarem se concentrando em episódios cada vez mais intensos de chuvas extremas em São Carlos/SP. Ou seja, chuvas extremas com maiores volumes pluviométricos devem ocorrer de forma cada vez mais concentrada, de acordo com os cinco últimos anos da série de dados analisados.

A Figura 77 expressa a distribuição espacial das tendências de dias chuvosos intensos e extremos entre as estações analisadas.

Figura 77. Mapa das tendências para o número de dias de chuvas intensas (R36mm) e extremas (R46mm) nas estações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

7 Considerações finais

Seguindo a descrição e apreciação dos resultados, as considerações e conclusões a seguir propõem ampliar a discussão quanto a evolução temporal e espacial das chuvas em São Carlos/SP.

Com isso, destaca-se o fato do presente estudo se dedicar:

- I. A análise de dados diários de chuva, uma vez que grande parte dos trabalhos se dedica a analisar médias mensais e anuais, o que dificulta o entendimento da dinâmica pluviométrica dessa região (climatologia tropical, em alguns casos). Isso se reafirma na dinâmica atmosférica, que apresenta diversos elementos que configuram a ‘origem’ e a distribuição das chuvas (como os SFs, a ZCAS e a ASAS, por exemplo);
- II. A análise pluviométrica por meio de índices climáticos e do RClimdex, que potencializa a análise das chuvas diárias por meio de diferentes espectros. Ainda assim, os índices necessitam de uma interpretação junto aos aspectos atmosféricos e a heterogeneidade das chuvas, espacial e temporalmente;
- III. A compreensão das tendências das chuvas em seu volume diário (mm), dos episódios de chuvas intensas e extremas, bem como do número anual destes eventos. A análise de tendência pela ferramenta do teste de Laplace permite projetar, em função de dados históricos e heterogêneos, a recorrência desses eventos, anualmente.

Chuvas intensas e extremas apresentam comportamento extremamente dinâmico no sudeste brasileiro e também no Estado de São Paulo (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al. 2006; MARENGO et al. 2010).

Destaca-se que os índices pluviométricos calculados apresentaram significativo dinamismo. Contudo, vale ressaltar:

- I. Que a precipitação total acumulada apresentou, nos últimos anos (2012, 2013, 2014 e 2015), volumes abaixo da média obtida para as estações. Contudo, o último ano analisado (2017) apresentou-se acima da média;
- II. Que os dias consecutivos secos máximos estão aumentando, conforme observado pelo índice CDD, o que implica em períodos mais prolongados de estiagem para a região;
- III. Que os dias consecutivos úmidos (chuvosos) estão dentro do valor médio ou abaixo da média, exceto para a estação Rib. Feijão, onde se afirma o efeito do relevo, possivelmente, em seu incremento.
- IV. Que a intensidade pluviométrica (SDII) apresenta-se dentro da normalidade nos últimos anos ou tendente ao aumento;
- V. Que os valores de RX 1 e 5 dias oscilam entre períodos mais ou menos intensos e com picos elevados, como 2013-14 no RX1 dia;
- VI. Que o índice *Rnn* apresenta grande flutuação, sendo para episódios de 10 e 20mm os mais característicos.

As séries de dados das estações mostraram-se com algumas falhas, porém, nas duas últimas décadas, mais robustas e completas e com poucas lacunas.

A dinâmica atmosférica se mostrou um dos principais argumentos para reafirmar que a análise do comportamento médio mensal e anual não são suficientes para a compreensão de eventos de chuvas intensas e extremas, além de ocultar lacunas e episódios contínuos de chuvas ou, até de estiagem.

Tal dinamismo se confirma com o aumento dos eventos de chuva intensa e extrema na região, que estão aumentando tanto no número de episódios quanto no volume pluviométrico, conforme observou-se no estudo, além de reafirmar os resultados semelhantes obtidos em distintos trabalhos e metodologias empregadas na climatologia do sudeste da América do Sul (HAYLOCK et al., 2006; LIEBMANN et al., 1999; LIEBMANN; JONES; DE CARVALHO, 2001; MARENGO et al., 2010, 2012; RAO et al., 2016; SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009; ZILLI et al., 2017).

Na região de São Carlos/SP, onde o estudo foi realizado, e em seu entorno, alguns estudos têm apresentado incertezas quanto aos padrões de chuva e sua sazonalidade (BLAIN, 2011, 2013). No entanto, devido às teleconexões, foi encontrada uma correlação entre a precipitação e as anomalias oceânicas, mesmo sem observar mudanças nas tendências de precipitação (YOULTON et al., 2012).

Assim, a organização destes valores segundo *outliers* favoreceu a identificação de episódios de chuva com maior probabilidade de repercussões espaciais negativas em áreas urbanas, na produção agrícola, por exemplo, conforme observado no trabalho produzido para a região de São Carlos/SP e apresentado anteriormente (SANCHES et al., 2018).

Com base no pressuposto de um aumento nos episódios extremos de chuva, as estações analisadas apresentaram tendências normais de volume pluviométrico em episódios intensos de chuvas (36mm a 45mm, diariamente), embora o número de dias com chuvas intensas tendesse a diminuir, segundo os dados avaliados.

Em outras palavras, chuvas intensas concentram-se em um número menor de dias, mas mantendo os mesmos volumes precipitados.

No entanto, os episódios extremos de precipitação (acima de 46mm diários) apresentaram tendência crescente em relação ao volume de precipitação durante as séries históricas observadas, enquanto o número de dias com chuvas extremas apresentou uma tendência decrescente, ou seja, precipitações extremas aumentam em volume (mm) e ocorrendo em menos dias, anualmente, concentrando-se assim em eventos cada vez mais extremos.

A metodologia empregada se apresenta como uma ferramenta eficiente para a determinação e avaliação de tendências pluviométricas em uma dada série histórica, e sua validação em estudos futuros de climatologia é de extrema importância.

Para trabalhos futuros, seria importante aplicar a metodologia proposta para detectar tendências em outras regiões climáticas e também utilizar outro tipo de dados, como dados de temperatura, para verificar os achados da mudança climática e aumentar a robustez da técnica.

De acordo com o presente estudo, há também a necessidade de aumentar o número de estações pluviométricas, identificar as áreas mais vulneráveis em relação à precipitação observada e observar as tendências de intensidade, duração e frequência (recorrência) de eventos de chuva intensa e extrema na escala temporal e sazonal.

O presente estudo também considera o teste como uma nova metodologia para detectar tendências na precipitação, sem deixar de lado a importância de outras técnicas já validadas neste tipo de avaliação, o que reafirma o potencial dessa ferramenta nesses tipos de estudos.

A ferramenta, portanto, se mostrou de grande valia junto à interpretação das tendências pluviométricas, em longas séries de dados e, dentre outros aspectos, a visualização quantitativa das tendências, pelas chuvas, nesse caso, aponta limiares quantitativos de direcionamento para o aumento, estabilidade ou diminuição nos dados.

Estudos futuros podem, portanto, observar as tendências de chuvas em diferentes regiões ou mesmo em outros tipos de eventos pluviométricos, como chuvas extremas.

Para tanto, ressalta-se que o acumulado total de chuvas tende a redução e que a intensidade pluviométrica tende ao aumento ou normalidade, o que evidencia a associação entre o índice SDII e o teste de *Laplace*.

O aumento dos dias consecutivos secos (CDD) evidenciam o prolongamento da estiagem, enquanto a diminuição dos dias consecutivos chuvosos (CWD) expressam a concentração de episódios de chuvas extremas, em menos dias chuvosos.

O RX1 dia apresenta flutuações, com alguns picos em períodos marcados pela estiagem (2013-14, por exemplo), sendo o ano de 2017 dentro normalidade, e os últimos anos da série analisada, tendente a redução.

O RX 5 dias, que expressa os dias sob influência de mecanismos atmosféricos, como ZCAS, SFs, etc., também oscilam. Entretanto, com algumas estações se encontraram abaixo ou acima da média, como 2013-14 (abaixo) e 2016 (muito elevado).

Com isso, observa-se que, quando ocorreram volumes maiores acumulados em 5 dias, a ocorrência da ZCAS e dos SFs foram mais intensos, enquanto os anos de menor volume acumulado estiveram associados à bloqueios atmosféricos (ASAS).

Sendo assim, as chuvas estão se reduzindo em volume, concentradas em menos dias e com episódios diários mais intensos e extremos pluviométricos entre as estações de São Carlos/SP.

Para trabalhos futuros, objetivam-se:

- Ampliar a base de dados, a fim de analisar o comportamento das chuvas diárias numa perspectiva mais aproximada da climatologia regional;
- Inserir outras bases de dados, como os obtidos por satélites, numa escala de diárias, a fim de verificar suas possíveis correlações;
- Ampliar o uso dos índices, de modo a especializar os mesmos em uma área mais extensa;
- Validar a ferramenta de tendências (*Laplace trend factor*) para a área de climatologia a partir:
 - Da associação aos critérios globais e locais de análise;
 - Da correlação com outras técnicas de observação de tendências em longas séries de dados, além de inserir novas ferramentas de *clusterização*, mineração de dados, etc.;

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. G. DE; SOBRINHA, L. A.; BRANDÃO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 239–250, abr. 2017.
- AL-CHALABI, H.; HOSEINIE, H.; LUNDBERG, J. **Monte Carlo Reliability Simulation of Underground Mining Drilling Rig**. (U. Kumar et al., Eds.) Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety. **Anais...Springer International Publishing**, 2016
- AYOADE, J. O. Introdução a climatologia para os trópicos. 8.ed. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 2002.
- ALMEIDA, S. H. S.; EBERT, H. D. Estruturação tectônica da borda norte da Cunha de Guaxupé e da sutura de alterosa na região de Alfenas, sudoeste de Minas Gerais. **Geociências**, v. 17, n. 2, p. 421–443, 1998.
- AMORIM, L. M. DE. **Ocupação de fundos de vale em áreas urbanas. Estudo de caso: Córrego do Mineirinho, São Carlos, SP**. 17 jul. 2004.
- ANDRÉ, I. R. N. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS ATMOSFÉRICOS SEVEROS RECENTES NO BRASIL. **CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 16 out. 2006.
- BARREIRO, M.; TIPPMANN, A. Atlantic modulation of El Niño influence on summertime rainfall over southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 16, 21 ago. 2008.
- BARROS, V. R.; DOYLE, M. E.; CAMILLONI, I. A. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 1, p. 19–33, 1 jun. 2008.
- BATTISTI, R. et al. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 83, p. 1–14, 1 fev. 2017.
- BELARDINELLI, R. et al. Randomized, controlled trial of long-term moderate exercise training in chronic heart failure: effects on functional capacity, quality of life, and clinical outcome. **Circulation**, v. 99, n. 9, p. 1173–1182, 9 mar. 1999.
- BLAIN, G. C. Totais decendiais de precipitação pluvial em Campinas, SP: persistência temporal, periodicidades e tendências climáticas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 5, p. 789–795, maio 2011.
- BLAIN, G. C. Seasonal variability of maximum daily rainfall in Campinas, state of Sao Paulo, Brazil: trends, periodicities, and associated probabilities/ Variabilidade inter-sazonal da precipitacao pluvial maxima diaria em Campinas, estado de Sao Paulo: tendencias, periodicidades e probabilidades associadas. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 3, p. 557-, 2013.

BRAIDO, L. M. H.; TOMMASELLI, J. T. G. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E DOS ANOS EXTREMOS (CHUVOSO E SECO): SEUS EFEITOS NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO E SOJA PARA A REGIÃO DO PONTAL DO PARANAPANEMA – SP. **Formação (Online)**, v. 1, n. 17, 2010.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88–108, 1 jan. 2004.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 27–40, 15 nov. 2012.

CHRUN, D. **Model-Based Support for Information Technology Security Decision Making**. 2011. Dissertation (Doctorate) Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, 2011.

CHRUN, D.; SNEERINGER, G.; CUKIER, M. On the Use of Security Metrics Based on Intrusion Prevention System Event Data: An Empirical Analysis. 2008 **11th IEEE High Assurance Systems Engineering Symposium (HASE)**. Anais, 2008. Disponível em: <doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HASE.2008.52>

CORREA, M. G. G. **Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR**. (Tese) Doutorado. Universidade de São Paulo, 21 jun. 2013.

CORVALAN, S. B.; GARCIA, G. J.; Avaliação ambiental da APA Corumbataí segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal. **Geociências**, v. 30, n. 2, p. 269–283, 2011.

DRUMOND, A. R. DE M.; AMBRIZZI, T. The role of the South Indian and Pacific oceans in South American monsoon variability. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, n. 3/Abr, p. 125–137, 2008.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 3, p. 167–178, 1 ago. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA Clima Temperado, 2012. Influência da Drenagem Temporária da Água de Irrigação do Arroz na infestação da Bicheira-da-raiz e na Produtividade da Cultivar BRS Querência. **Circular Técnica** n. 135. Outubro 2012.

ESPINOZA, J. C. et al. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). **Climate Dynamics**, v.52, n. 9–10, p.5413–54302, 2019.

EVANGELISTA, H. et al. Evidences linking ENSO and coral growth in the Southwestern-South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 29, n. 7–8, p. 869–880, 1 dez. 2007.

FERREIRA JÚNIOR, S.; BAPTISTA, A. J. M. DOS S.; LIMA, J. E. DE. A Modernização Agropecuária nas Microrregiões do Estado de Minas Gerais. **Brazilian**

Journal of Rural Economy and Sociology (Revista de Economia e Sociologia Rural-RESR), v. 42, n. 1, p. 73, 30 mar. 2004.

FILHO, D. F. F. et al. APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO PARA ESPACIALIZAÇÃO DE CHUVAS DA REDE HIDROGRÁFICA: ESTUDO DE CASO CALHA NORTE – PA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, n. 0, 1 jul. 2019.

GAGNO, P. DE S. Turismo de eventos: a importância do CarnalFenas. 16 dez. 2015.

GASPAR JUNIOR, L. A. et al. Viabilidade de aplicação das coberturas argilosas da região de Alfenas na indústria cerâmica. **Geociências (São Paulo)**, v. 29, n. 1, p. 71–79, jan. 2010.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP.** (Tese). Doutorado. Universidade de São Paulo, 2 abr. 2008.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589–1609, 1 abr. 2009.

HAWKINS, D. Identification of outlier. London: **Champman and Hall**, 1980.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 19, n. 8, p. 1490–1512, 1 abr. 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. BASE cartográfica vetorial contínua do Brasil ao milionésimo - BCIM. Ver. 3. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2010. Disponível em: <ftp://geofitp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_continua_ao_milionesimo/2_bcim_v3.zip>. Acesso em: junho, 2018.

JAKOB, A. A. E. Análise socio-demográfica da constituição do espaço urbano da Região Metropolitana da Baixada Santista no período 1960-2000. 2003. 220p. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/279918>>. Acesso em: 3 ago. 2018.

KANOUN, K.; MARTINI, M. R. DE B.; SOUZA, J. M. DE. A method for software reliability analysis and prediction application to the TROPICO-R switching system. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 17, n. 4, p. 334–344, abr. 1991.

KARL, T. R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. Clivar/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. **Climatic Change**, v. 42, n. 1, p. 3–7, 1 maio 1999.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 4, p. 531–540, 30 mar. 2007.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; FERREIRA DE SOUZA, R. A. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 8, p. 2008–2023, 30 jun. 2013.

KAYANO, M. T.; CAPISTRANO, V. B. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall: AMO MODIFIES ENSO INFLUENCE. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 1, p. 162–178, jan. 2014.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19–33, 2007.

LEANDER, R.; BUIHAND, T. A.; TANK, A. M. G. K. An Alternative Index for the Contribution of Precipitation on Very Wet Days to the Total Precipitation. **Journal of Climate**, v. 27, n. 4, p. 1365–1378, 10 out. 2013.

LIEBMANN, B. et al. Submonthly Convective Variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, n. 7, p. 1877–1891, 1 jul. 1999.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; DE CARVALHO, L. M. V. Interannual Variability of Daily Extreme Precipitation Events in the State of São Paulo, Brazil. **Journal of Climate**, v. 14, n. 2, p. 208–218, 1 jan. 2001.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. DE C. T. ANÁLISE DE EPISÓDIOS DE ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES URBANAS NA CIDADE DE SÃO CARLOS A PARTIR DE NOTÍCIAS DE JORNAL. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, n. 0, 15 abr. 2015.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1, p. 121–135, 1 jul. 2010.

MARENGO, J. A. et al. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3, p. 509–529, 1 fev. 2010.

MARENGO, J. A. et al. Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1–21, 1 jan. 2012.

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31–44, 2 set. 2015.

MARTINS, J. F. et al. Influência da drenagem temporária da água de irrigação do arroz na infestação da bicheira-da-raiz e na produtividade da cultivar BRS querência. **Circular Técnica**, n. 135, out. 2012.

MARTINS, L. F. V. Monitoramento de parques urbanos em fundos de vale: análise das funções de conservação e uso público - estudos de casos múltiplos em Curitiba, Paraná. (Tese). Universidade de São Paulo, 29 out. 2014a.

MARTINS, M. L. Perspectives on the “Minas Gerais Sea”: perceptions of Alfenas and Fama residents on the Lake Furnas (1963-1999). **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 2, p. 347–363, dez. 2010.

MARTINS, M. L. A marcha do café no Sul de Minas, décadas de 1880-1920: Alfenas, Guaxupé, Machado e Três Pontas. **Territórios e Fronteiras**, v. 7, n. 1, p. 287–320, 2014b.

MARTINS, M. P.; LEITÃO, A. L. F. Procedimentos estatísticos aplicáveis a um histórico da manutenção para apoio à tomada de decisão. In: **X Jornadas de Classificação e Análise de Dados**. Aveiro., 2003.

MARTINS, V. A.; OLIVETTE, M. P. A. Cana-de-açúcar - safra 2013/14 – e Fatores Climáticos: panorama dos impactos na produtividade nos Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs) no Estado de São Paulo. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 10, n. 3, março, 2015.

MEKIS, É.; VINCENT, L. A. An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada. **Atmosphere-Ocean**, v. 49, n. 2, p. 163–177, 1 jun. 2011.

MELLO, B. F. DE; ZAVATTINI, J. A. DINÂMICA PLUVIAL EM CORUMBATAÍ – SP: ANÁLISE DE UM ANO-PADRÃO CHUVOSO COM VISTA AO DESENVOLVIMENTO TURÍSTICO (PLUVIAL DYNAMIC IN CORUMBATAÍ – SP: ANALYSIS OF A RAINY STANDARD YEAR TO TOURISM DEVELOPMENT). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n. 0, 17 out. 2016.

MENDONÇA, F.; LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **GeoTextos**, v. 4, n. 0, 9 mar. 2009.

MIANI, R. S. et al. **A Practical Experience on Evaluating Intrusion Prevention System Event Data as Indicators of Security Issues**. 2015 IEEE 34th Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS). **Anais...** In: 2015 IEEE 34TH SYMPOSIUM ON RELIABLE DISTRIBUTED SYSTEMS (SRDS). set. 2015

MONTEIRO, C. A. F. **O Clima e a organização do espaço no estado de São Paulo problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP, n 28, 1976. (Série “Teses e Monografias”).

MONTEIRO, C. A. F. O Estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, ano 1, n.1, maio, 1999.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. A.; ZAVATTINI, J. A.; SANT'ANNA NETO, J. L. **A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

MUZA, M. N. et al. Intraseasonal and Interannual Variability of Extreme Dry and Wet Events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during Austral Summer. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1682–1699, 1 abr. 2009.

NEWCOMBE, R. G. Two-sided confidence intervals for the single proportion: comparison of seven methods. **Statistics in Medicine**, v. 17, n. 8, p. 857–872, 30 abr. 1998

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, 4. Rio de Janeiro: **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1979.

OLIVEIRA, N., FOGACCIA, C.V.C. and Almeida, R.M.B. Preliminary Characterization of Heavy Rains in the State of São Paulo. **CBMET (Brazilian Congress of Meteorology-Anais)**, Brasília, 1998.

OKOLI, C. N.; ONYEAGU, S. I.; OSUJI, G. A. On the Estimation of Parameters and Best Model Fits of Log Linear Model for Contingency Table. **Open Access Library Journal**, v. 2, n. 1, p. 1–11, 1 jan. 2015.

OLIVEIRA, R. L. DE S. Análise e caracterização da dinâmica geomórfica erosiva da área urbana de Alfenas, sul de Minas Gerais. **(Tese)**. Universidade de São Paulo, 6 out. 2014.

PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 293–310, jun. 2017.

PETERSON, T.C., FOLLAND, C., GRUZA, G., HOGG, W., MOKSSIT, A. AND PLUMMER, N. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. World Meteorological Organization, Geneva, **Rep. WCDMP-47**, WMO-TD 1071, 143 p., 2001.

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Reflexão sobre a gênese da Serra Geral e da Depressão Periférica Paulista: O exemplo da região da Serra de São Pedro e do Baixo Piracicaba-SP. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, nº35 (1), p. 47-59, 2014.

PSCHEIDT, I.; GRIMM, A. M. Frequency of extreme rainfall events in Southern Brazil modulated by interannual and interdecadal variability. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 13, p. 1988–2011, 2009.

QUADRO, M. F. L. DE et al. Climatological analysis of the precipitation and umidity transport on the SACZ region using the new generation of reanalysis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 152–162, jul. 2012.

RAO, V. B. et al. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 1, p. 291–302, 1 jan. 2016.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81–91, 1 jun. 1990.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, jun. 2010.

REBOITA, M. S. et al. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, v. 8, n. 1, p. 34–50, 2012.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009

SANCHES, R. G. **As chuvas na região de São Carlos/SP: estudo do comportamento pluviométrico a partir de dados de estações climatológicas, 1993-2014**. Dissertação (mestrado)—[s.l.] Universidade de São Paulo, 24 set. 2015.

SANCHES, R. G. et al. As chuvas na região de São Carlos/SP: análise dos valores máximos diários na série histórica, 1993-2014. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, n. 2017, p. 2280–2292, 25 out. 2017.

SANCHES, R. G. et al. Intense Rainfall in São Carlos/SP: Determination of Threshold Values Using Climate Indices and Their Spatio-Temporal Repercussion. **American Journal of Climate Change**, v. 07, p. 388, 17 ago. 2018.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATTINI, J. A. (Org.). Variabilidade e mudanças climáticas. Maringá: **Eduem**, 2000.

SANTOS, B. C.; SANCHES, R. G.; SOUZA, P. H. A DINÂMICA ATMOSFÉRICA NO VERÃO 2013-2014 NO MUNICÍPIO DE ITIRAPINA/SP E SUA CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA UTILIZANDO ANOS PADRÕES. **Caminhos da Geografia**, v.19, n.68. Uberlândia/MG. Dezembro, 2018.

SANTOS, B. C. DOS; SOUZA, P. H. DE; VECCHIA, F. A. DA S. A CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DO ANO HIDROLÓGICO DE 2013-2014 NA REGIÃO DE SÃO CARLOS/SP E SUA REPERCUSSÃO NO ESPAÇO GEOGRÁFICO. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 0, 15 set. 2017.

SANTOS, C. A. C. DOS et al. Variability of extreme climate indices at Rio claro, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 395–400, dez. 2012.

SANTOS, C. A. C. Recent changes in temperature and precipitation extremes in an ecological reserve in Federal District, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 13–20, mar. 2014.

SANTOS, C. A. C. DOS; RAMOS, A. R. D. Avaliação dos eventos extremos de precipitação no estado do Piauí. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 21 mar. 2018.

SANTOS, H. F. MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA E RELAÇÃO CAMPO-CIDADE: UMA ANÁLISE A PARTIR DO AGRONEGÓCIO CAFEEIRO NO MUNICÍPIO DE ALFENAS – MG. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, 24 set. 2014.

SARMIENTO ARDILA, C. J. Avaliação técnico-econômica e ambiental da produção de etanol de cana-de-açúcar na região do "Valle del Río Cauca", Colômbia. 2016. 1 recurso online (116 p.). **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em:

<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/305369>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

SENTELHAS, P. C. et al. Agro-climatic favorability zones for sugarcane orange rust as a tool for cultivar choice and disease management. **Crop Protection**, v. 84, p. 88–97, 1 jun. 2016.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. **Massas de ar na América do Sul**. Rio de Janeiro: Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, 1942.

SERRA, Y. L. et al. Tropical Intraseasonal Modes of the Atmosphere. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 39, n. 1, p. 189–215, 2014.

SHARON, D.; KUTIEL, H. The distribution of rainfall intensity in Israel, its regional and seasonal variations and its climatological evaluation. **Journal of Climatology**, v. 6, n. 3, p. 277–291, 1 jan. 1986.

SILVA, D. F. DA; PRELA-PANTANO, A.; NETO, J. L. S. A. VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA NA REGIÃO DO MEDIO PARANAPANEMA, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, n. 0, 2008.

SILVA DIAS, M. A. F. et al. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, v. 116, n. 3, p. 705–722, 1 fev. 2013.

SILVA NETO, A. V. Modelo de predição de falhas baseado em processos estocásticos e filtragem Kalman para suporte à manutenção preditiva de sistemas elétricos, eletrônicos e programáveis. **Dissertação (Mestrado)**. Engenharia de Computação — São Paulo: Universidade de São Paulo, 9 jun. 2014.

SILVEIRA, L. M. DA. Os sistemas atmosféricos e a variação do tempo em Maringá, Estado do Paraná, Brasil - DOI: 10.4025/actascitechnol.v28i1.1290. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 28, n. 1, p. 79–84, 20 mar. 2008.

SILVESTRE, M. R. CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS PARA DEFINIÇÃO DE ANOS-PADRÃO. **Formação (Online)**, v. 2, n. 20, 2013.

SIDRA/IBGE. Censo Agropecuário 2006. In: **IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=861&z=p&o=2&i=P>>. Acesso em: mar. 2012.

SIMPAT - SINAL - SOS / FINEP / IPMET - Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil. **IPMET - Instituto de Pesquisas Meteorológicas de Bauru/SP**, 2018. Disponível em: <https://www.ipmet.unesp.br/2desastres.php>.

SOUZA, P. H. DE; SANCHES, R. G.; SANTOS, B. C. DOS. ANÁLISE DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE ALFENAS/MG: ÍNDICES CLIMÁTICOS E CHUVAS INTENSAS NA SÉRIE HISTÓRICA, 1984-2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 0, 8 nov. 2018.

STEINKE, E. T. Climatologia fácil. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2012.

STEPHENSON, T. S. et al. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961–2010. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 9, p. 2957–2971, 1 jul. 2014.

SUGAHARA, S.; ROCHA, R. P. DA; SILVEIRA, R. Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 9, p. 1339–1349, 1 jul. 2009.

SUGUIO, K. Mudanças Ambientais da Terra. São Paulo: **Instituto Geológico**, 2008.

SUKHWANI, H. et al. **Software Reliability Analysis of NASA Space Flight Software: A Practical Experience**. 2016 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS). **Anais...** In: 2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE QUALITY, RELIABILITY AND SECURITY (QRS). ago. 2016

TANIWAKI, R. H. et al. Climate change and multiple stressors in small tropical streams. **Hydrobiologia**, v. 793, n. 1, p. 41–53, 1 jun. 2017.

TEIXEIRA, M. DA S.; SATYAMURTY, P. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960–2004. **Journal of Climate**, v. 24, n. 7, p. 1913–1921, 27 jan. 2011.

TOLENTINO, Mario. Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos. São Carlos: **EdUFSCar**; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2007.

VÁSQUEZ P., I. L. et al. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. **Climate Dynamics**, v. 50, n. 3, p. 801–824, 1 fev. 2018.

VELASCO, I.; PIMENTEL, E. Zonificación agroclimática de Papadakis aplicada al estado de Sinaloa, México. **Investigaciones geográficas**, n. 73, p. 85–102, dez. 2010.

YANG, TAE-JIN. The Analysis and Predict of Software Failure Time Based on Nonlinear Regression. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, 13: 4376-4380, 2018.

YOULTON, C. et al. Influencia del fenómeno El Niño-La Niña y cambio climático en el patrón de lluvias en São Carlos-SP, Brasil. **Estudios Geográficos**, v. 73, n. 272, p. 325–331, 24 ago. 2012.

ZANDONADI, L. et al. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 3, p. 741–756, 2016.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa. Campinas: **Alínea**, 2013.

ZHANG, X.; YANG, F.; RCLimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada: **Downsview**. Ontario, Canada, 2004.

ZILLI, M. T. et al. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269–2279, 1 abr. 2017.

ZWIERS, F. W.; STORCH, H. VON. On the role of statistics in climate research. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 6, p. 665–680, 2004.

Apêndice A

PRCPTOT - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	1548,8	1331,1	1401,9	1473,9	1324,8	1477	
1980	1633,4	1815,9	1578,9	1671,6	1451,4	1703,1	
1981	1366,8	1509,2	1404,6	1340,9		1306,3	
1982	1710,3	2085,1	1577,2	1615,9		1621,5	1702,8
1983	2770,7	3036,7	2267,2	2328	2592,4	2379,3	2424,4
1984	965,2	1370,7	1159,4	1047,8	1153,3	997,6	937,7
1985	1486,9	1242,1	1294	1305,4	1304,5	1298,7	
1986	1706,5	1818,2	1562,1	1404,8	1431,8	1427	1436,7
1987	1330,6	1763,9	1400,5	1637	1469,6	1624,6	1552
1988	1556	1501,9	1168,8	1338,7		1337,1	1309,4
1989	1556,9	1522,5	1574,4	1367	1491	1449,8	1659,6
1990	1350,4	1580,6	1512,3	1386,4	1401,6	1295,4	1569,8
1991	1630,3	1948,1	1639,7	1761,9	1875,8	1763,9	1447
1992	1215,1	1392,2	1437,9	1447,3	1464,1	1445,3	1314,9
1993	1543,4	1609,3	1481,2	1675,4	1577	1772,4	1860,2
1994	1268,1	1261,8	1367,7	1375,3	1287,6	1289	1451,1
1995	1447,4	1621,2	2046,9	1672,7	1953,6	1672	1803,5
1996	1482,8		1734	1545	1569,8	1606	1783,2
1997		1236,7	1583,5	1420,7	1566,7	1406,1	1635,5
1998	1593,5	1493,1	1430,8	1469,7	1470,1	1438,6	1617,5
1999	1378	1709,8	1517	1601,6	1474,2	1576,3	1428,3
2000	1574,3	1734,2	1680,9	1458,8	1460,7	1472,1	1729,4
2001	1339,2	1281,8	1363,6	1252,6	1614,1	1301,2	1470,1
2002	1400,1	1533,2	1432,6	1457,7	1586,2	1395,8	1503,9
2003	1375,5	1495,8	1544,8	1257,2	1468,1	1257,2	1258
2004	1505	1620,6	1627	1556,7	1538	1568	1561,5
2005	1245,3	1411,3	1353,3	1378,9	1486,1	1425,2	1627,9
2006	1089,7	1490,2			1383,7		1290,8
2007	1359,2	1343,3		1474,3	1419,4	1412,5	1442,6
2008	1314,8	1237,5		1270,7		1270,7	1062,5
2009	1875,9	1861,1	1417,7	1944	1746,1	1944	2082
2010	1347,5		1327,4	1122		1122	1219,1
2011	1700	1670,8	1724,5	1548,1	1776,5	1548,1	1693,2
2012	1323,1	1517,5	968,9	1667	1491	1667	1612,8
2013	1544,4	1656	1180,9	1533,2	1511,5	1533,2	1475,5
2014	886,4	917,8	423,5	1203,1	2263,5		1107
2015	1422,7	1669,9	1231,3	1543,9	1219,5		1366,8
2016	1598,2		1629,5		1237,6		1801,4
2017					1361,8		1355,6

CDD - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	50	34	34	34	50	34	
1980	59	77	40	40	40	40	
1981	60	54	61	60		60	
1982	32	33	33	34		34	33
1983	46	44	43	43	43	43	43
1984	76	76	76	76	76	76	76
1985	46	79	51	73	46	73	
1986	52	51	51	51	52	51	52
1987	44	63	32	31	29	31	31
1988	22	78	91	93		93	91
1989	33	32	33	32	32	32	32
1990	30	53	27	27	33	27	33
1991	63	65	63	63	63	63	63
1992	45	46	42	44	37	44	45
1993	25	37	31	26	31	26	31
1994	85	89	89	84	68	84	68
1995	58	71	58	58	58	58	58
1996	32		24	60	28	60	28
1997		50	50	50	45	50	50
1998	44	40	24	62	43	62	44
1999	45	63	63	45	63	45	63
2000	57	38	37	60	57	60	34
2001	29	28	31	30	28	30	29
2002	51	51	51	51	49	51	51
2003	34	31	62	65	31	65	31
2004	60	61	63	62	60	62	59
2005	32	24	58	27	21	27	32
2006	35	40			40		34
2007	80	88		64	89	64	81
2008	48	39		47		47	38
2009	22	26	44	23	20	23	23
2010	54		47	54		54	54
2011	53	37	37	53	37	53	54
2012	60	63	63	63	63	63	32
2013	39	40	38	40	40	40	38
2014	37	37	61	38	35		37
2015	32	28	57	30	29		30
2016	29		75		69		24
2017					63		64

CWD - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	9	7	9	9	6	9	
1980	7	6	7	10	6	11	
1981	8	8	6	11		11	
1982	5	7	11	5		5	9
1983	10	12	10	9	14	9	9
1984	5	5	9	5	6	5	7
1985	11	5	7	8	7	8	
1986	6	8	8	8	9	8	11
1987	6	8	13	15	10	15	14
1988	9	5	7	6		6	8
1989	5	5	8	15	10	15	10
1990	7	8	18	10	9	10	9
1991	9	7	9	7	9	7	9
1992	8	3	7	11	10	11	7
1993	10	8	11	9	11	9	9
1994	7	9	9	13	10	13	10
1995	25	9	14	25	14	25	13
1996	5		12	5	10	5	6
1997		6	6	6	8	6	8
1998	7	6	10	6	11	6	13
1999	9	6	9	8	6	8	37
2000	6	4	6	6	6	6	6
2001	5	4	9	4	12	4	7
2002	6	4	4	5	9	5	5
2003	11	6	5	5	13	5	12
2004	5	6	3	4	7	4	5
2005	8	6	5	4	8	4	8
2006	8	5			12		8
2007	8	7		10	8	10	10
2008	7	5		6		6	7
2009	8	6	6	7	10	7	9
2010	8		5	9		9	8
2011	9	8	11	11	16	11	8
2012	10	8	6	9	8	9	9
2013	7	6	7	9	7	9	7
2014	6	4	3	7	6		8
2015	6	6	4	5	11		10
2016	8		8		11		10
2017					14		9

R10mm - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	47	49	50	46	48	46	
1980	51	53	52	46	44	47	
1981	41	48	47	44		43	
1982	52	70	51	49		49	56
1983	86	94	74	76	74	78	80
1984	29	41	36	38	41	36	31
1985	46	40	35	44	37	44	
1986	51	62	48	42	41	43	50
1987	42	55	44	48	52	47	49
1988	53	49	40	49		49	42
1989	49	57	49	50	48	53	54
1990	54	54	46	49	44	46	54
1991	53	57	54	50	57	50	51
1992	47	51	53	54	48	54	40
1993	62	61	52	58	56	60	61
1994	37	43	49	41	44	39	43
1995	43	55	55	48	58	48	58
1996	49		56	54	55	56	55
1997		50	58	52	55	51	57
1998	48	43	47	52	40	52	52
1999	44	48	52	51	43	50	36
2000	47	47	45	47	39	48	58
2001	42	47	46	44	49	44	50
2002	44	42	36	41	44	40	40
2003	44	49	46	43	42	43	41
2004	49	48	47	50	51	51	48
2005	45	42	43	41	45	41	48
2006	41	47			47		44
2007	49	45		44	49	43	46
2008	49	39		47		47	41
2009	54	58	53	55	53	55	60
2010	33		40	33		33	44
2011	55	56	49	47	56	47	51
2012	48	46	32	51	55	51	56
2013	48	44	36	43	43	43	45
2014	36	30	15	40	51		38
2015	47	44	42	52	41		44
2016	48		49		39		58
2017					42		47

R20mm - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	29	26	28	24	25	24	
1980	31	30	30	26	28	27	
1981	21	29	21	26		25	
1982	33	38	23	31		31	32
1983	51	68	43	42	50	44	47
1984	18	22	23	20	18	18	13
1985	28	21	20	24	20	24	
1986	28	37	27	22	22	22	29
1987	26	35	23	31	22	31	25
1988	30	27	18	26		26	27
1989	32	32	23	22	28	24	34
1990	21	32	25	21	24	19	29
1991	30	40	30	31	35	31	23
1992	16	30	26	23	28	23	22
1993	29	30	27	26	29	28	35
1994	20	30	19	23	24	21	26
1995	23	28	40	30	35	30	29
1996	26		33	28	24	30	31
1997		27	29	28	31	27	28
1998	28	29	27	24	26	24	28
1999	24	30	26	28	24	27	28
2000	25	35	30	28	24	28	32
2001	27	24	23	23	30	24	23
2002	28	22	28	21	29	20	26
2003	30	28	36	26	25	26	23
2004	23	31	32	34	28	34	30
2005	20	21	21	28	27	29	25
2006	20	28			29		21
2007	30	26		27	23	26	28
2008	25	24		17		17	15
2009	33	31	28	36	26	36	39
2010	20		23	21		21	17
2011	30	31	31	31	41	31	31
2012	25	31	19	32	25	32	29
2013	28	28	19	28	22	28	21
2014	13	16	8	21	34		22
2015	20	34	25	29	17		19
2016	29		28		20		32
2017					24		22

R36mm - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	9	9	7	10	8	10	
1980	11	15	10	14	10	14	
1981	12	9	11	9		9	
1982	12	17	11	10		10	13
1983	22	29	18	20	20	20	18
1984	4	12	9	5	6	5	5
1985	11	8	12	7	11	7	
1986	13	12	12	11	9	11	6
1987	9	14	10	14	9	14	10
1988	12	13	7	6		6	6
1989	15	7	10	8	6	9	12
1990	5	10	11	7	9	6	11
1991	8	22	13	15	17	15	9
1992	3	11	7	5	6	5	7
1993	6	13	5	12	6	14	8
1994	10	8	8	12	7	10	13
1995	9	15	16	11	18	11	11
1996	9		11	11	11	12	15
1997		5	9	8	9	8	11
1998	12	14	13	7	11	6	8
1999	11	15	12	12	12	12	14
2000	10	14	15	11	12	11	12
2001	9	8	8	6	11	7	9
2002	6	12	9	12	13	11	9
2003	8	9	14	7	7	7	5
2004	11	10	17	14	9	14	12
2005	8	10	11	13	8	14	14
2006	5	11			7		7
2007	9	9		11	9	10	8
2008	4	10		8		8	3
2009	15	18	10	19	14	19	22
2010	11		10	7		7	5
2011	13	12	12	18	12	18	13
2012	7	11	7	20	9	20	10
2013	12	13	8	13	8	13	10
2014	4	5	4	9	19		8
2015	12	15	8	9	4		4
2016	11		16		7		11
2017					10		9

R46mm - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	7	2	3	5	5	5	
1980	4	9	4	10	6	10	
1981	7	6	7	6		6	
1982	8	7	6	6		6	5
1983	15	14	10	10	12	10	11
1984	1	6	4	1	3	1	3
1985	7	5	7	6	7	6	
1986	11	7	5	7	9	7	3
1987	5	12	9	6	5	6	8
1988	6	7	4	2		2	3
1989	7	3	9	3	3	3	4
1990	1	7	5	3	7	3	6
1991	7	10	4	7	9	7	5
1992	1	5	2	2	3	2	5
1993	1	7	4	6	2	7	6
1994	6	4	4	6	1	5	7
1995	5	8	11	7	12	7	8
1996	5		3	5	6	5	6
1997		3	3	2	3	3	4
1998	8	7	5	6	5	5	4
1999	6	10	6	7	6	7	7
2000	6	10	10	4	6	4	5
2001	5	7	4	5	8	6	8
2002	5	8	6	8	10	7	7
2003	4	5	7	5	6	5	3
2004	4	9	10	6	5	6	4
2005	5	7	8	8	5	9	9
2006	2	6			2		4
2007	4	5		5	6	4	2
2008	1	4		1		1	0
2009	11	11	5	9	6	9	13
2010	10		6	4		4	5
2011	8	8	10	8	5	8	7
2012	2	4	2	6	4	6	6
2013	6	9	5	8	5	8	5
2014	2	2	1	4	12		3
2015	6	9	5	4	1		2
2016	6		10		3		5
2017					5		2

SDII - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	15,8	16,6	15,8	16,4	15,8	16,2	
1980	16	20	15,8	17,2	15,3	17,2	
1981	15,4	19,6	16	14,1		14,2	
1982	16,1	20,4	12,7	15,1		14,9	15,1
1983	21,8	26,2	16,8	17,8	20,1	18	17,8
1984	13	19,3	14,3	12,8	12,7	12,2	12
1985	17,9	18,5	15,4	14,2	13,7	14,6	
1986	16,9	22,4	14,5	13,8	13,1	13,6	13,8
1987	18,5	25,6	14	17,1	13,9	17,1	15,7
1988	18,3	20,9	13,1	14,9		14,9	15,1
1989	19,5	17,3	16,6	13,1	13,6	13,8	16,3
1990	13,5	20,8	14,3	12,1	13,5	11,6	15,4
1991	16	26,7	16,1	18,2	18,4	18	14,8
1992	11,6	23,2	12,5	12,4	12,8	12,5	13,7
1993	13,9	21,5	13,1	15,2	13,4	15,7	15,6
1994	14,4	19,7	14,6	16	12,9	15,2	15,6
1995	13,3	22,2	18,6	15,9	17,6	15,9	16,5
1996	14,7		14,9	15	14,3	15,4	16,1
1997		16,5	14,8	13,8	14,2	13,8	14,5
1998	15,2	19,4	13,4	15,5	13,2	15,1	13,5
1999	16	21,9	17,4	18,2	17,6	18,3	13,1
2000	15,9	21,7	19,5	19,2	15,9	19,1	16
2001	15	16,9	14,2	17,2	15,5	17,6	15,5
2002	15,1	18,3	18,6	17,6	16,5	17,2	15,7
2003	13,4	16,8	24,9	18,5	14,1	18,5	12,6
2004	16,9	17,4	30,1	24,3	15,5	24,1	15,5
2005	13,2	15,7	24,6	27,6	14,2	28,5	16,3
2006	13,1	16,7			13,6		13,3
2007	17	16,8		17,6	16,5	17	15,3
2008	12,4	13		12,7		12,7	10,4
2009	16,7	18,2	17,9	17,2	13,6	17,2	18,3
2010	14,3		21,4	13,2		13,2	13,4
2011	17,2	19,9	20,3	18,4	17,4	18,4	16,8
2012	14,9	17,1	13,3	19,2	15,1	19,2	15,8
2013	16,1	19,7	14,4	16,1	13,9	16,1	13,8
2014	13	14,6	11,1	16,3	25,4		14,2
2015	16	20,9	18,4	16,1	10,2		11,4
2016	16,3		27,2		13		15,7
2017					15,3		13,3

RX1 dia - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	88	75,2	62,4	81,2	68,9	81,2	66
1980	110,2	119,2	100,3	90,5	78,6	90,5	143,1
1981	89,7	102,3	94,2	91,6	74,2	91,6	75,4
1982	88,1	88,3	90,4	79,3	86,1	79,3	80,1
1983	134,1	75,3	96,4	114,5	121,2	114,5	69,4
1984	46,6	86,3	58	52,3	72,6	52,3	69,1
1985	64,3	88,5	81,5	75,4	75,4	75,4	
1986	91,8	106	93,5	80	79,8	80	75,4
1987	79,1	74,8	78,5	103,6	81,6	103,6	76,4
1988	81,3	74,9	59,8	66,7	72,4	66,7	98,4
1989	76,2	79,3	86,6	70,8	60,4	70,8	83,6
1990	80	102	69	60,9	90,1	60,9	69
1991	110	86,3	85,3	103,2	70	103,2	75,4
1992	66,7	115,1	51,1	55,7	91,2	55,7	57,8
1993	57,5	78,8	79,3	62	82,4	62	102,9
1994	79,5	55,1	93	78,7	63,6	78,7	74,3
1995	84,7	72,5	81,9	100,2	82,1	100,2	94,3
1996	86,1	91,3	76,6	73,8	83,8	73,8	118,9
1997	118,5	65,3	56,8	49,4	76,7	55,4	68,3
1998	88,1	79	61,5	98,1	82,7	98,1	76
1999	98,3	93,9	81,5	104	126,6	104	77,4
2000	108,2	104,9	138,5	88,7	99,2	88,7	75
2001	77,2	66,6	65,5	56	89,6	57,3	82,4
2002	85,3	97,8	185,3	135,4	93,6	135,4	113,4
2003	55,7	90,2	110	79,5	183,4	79,5	81,9
2004	135,2	85,2	93,3	94,5	91,4	94,5	112,7
2005	60,8	103,7	111,1	93,2	70,5	93,2	76,8
2006	74,1	74,1	100,4	164,4	63,8	164,4	89,8
2007	96,5	65,5	67,5	103,1	70,2	103,1	81,4
2008	46,2	55,5	70	59,7		59,7	45,2
2009	125	103,8	78	81,3	72,5	81,3	68,9
2010	91,9	91,5	113	74,8	117,2	74,8	97
2011	97,8	76	121,2	65,3	80,9	65,3	100
2012	71,7	69,8	65,5	67,3	71,2	67,3	80,8
2013	84,9	183,2	142,1	87	145,5	87	118
2014	50,4	60,3	59	67	165	67	63,4
2015	88,2	112,7	78	95,8	56		72,6
2016	124,7	169	184	187,7	92,1		122,4
2017	63,7	85,5	81	98,1	71,3		68

RX5 dias - Estações							
Ano	sta_eudoxia	sta_bárbara	água_branca	faz_barra	rib_feijão	u_capão	inmet
1979	155,3	135,3	125,7	210,9	149,3	210,9	101,2
1980	152,8	165,3	125,4	148,3	120,5	148,3	
1981	152,7	158,6	152	161,1	175,9	161,1	111,6
1982	157	199,3	134,8	139,8	124,3	139,8	132,7
1983	276,2	306,8	174,1	163,5	212,8	163,5	183
1984	85,5	128,1	177,8	105,3	96,8	97,2	151
1985	157,5	128	160,2	128	172,3	128	
1986	164,7	197,2	188,2	152,4	128,4	152,4	140,6
1987	146,8	251,4	184,9	213,2	154,3	213,2	171,4
1988	173,1	206,5	144,9	173,3	191,5	173,3	210,1
1989	147	140	145,3	120	129,1	121,5	145,7
1990	192,1	131,9	155,4	150,9	140,3	150,9	214,1
1991	192,4	172,4	157	203,9	243,6	203,9	207,6
1992	100,5	125,6	127,5	93,9	155,4	93,9	
1993	119,8	170,6	128,6	120,9	105,3	120,9	169,2
1994	135,8	132	184,1	136,2	129,5	136,2	109
1995	219,9	153,5	278,7	271,4	226	271,4	296,5
1996	216	200,2	186,1	145,6	183,6	145,6	235,8
1997	210,2	116,3	140,4	100,5	111	107,1	131,7
1998	155,4	144	120,9	109,7	180,1	109,7	123
1999	167,6	200,1	172,3	181,1	243,3	181,1	190,2
2000	225,5	184,4	184,7	231,5	173,7	231,5	203
2001	122,3	109	79,7	111,5	125,3	111,5	112,9
2002	134,9	204,4	185,3	167,8	171,2	167,8	149,3
2003	134	177,9	150,7	125,8	290,5	125,8	155
2004	198,9	157,9	181,3	158,9	190,1	158,9	190,2
2005	116,3	154	145,6	149,8	211,8	149,8	163,8
2006	115,2	161,8	154,9	210,4	133,4	210,4	168,4
2007	138,4	163,8	154,7	147,6	128	147,6	145
2008	100,9	97,1		93,6		93,6	78,6
2009	177,7	219,8	129	157,3	169,1	157,3	174,3
2010	170,9	219,8	170	128,8	117,2	128,8	142,6
2011	177,6	187,3	261,7	210,1	216,4	210,1	183,2
2012	134	112	111,4	184	118,3	184	159,9
2013	165,6	256,5	202,7	190	195,7	190	170,5
2014	101	99,9	121	133,1	261	133,1	118,2
2015	136,2	172,7	127,1	141,1	93,4		122,1
2016	216,4	280,8	266	367,2	180,9		258,7
2017	115,7	189,7	174,6	126	158,5		154,8

Figura 78. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação Água Branca. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 79. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação Fazenda da Barra. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 80. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação Santa Bárbara.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 81. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação Santa Eudoxia.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 82. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação INMET/UFSCar. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 83. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação Ribeirão Feijão. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 84. Gráfico da frequência e da frequência acumulada das chuvas diárias na estação Usina Capão.
Fonte: Elaborado pelo autor.