

REGIONALIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA DO RIO ITAJAÍ,  
SANTA CATARINA.

PEDRO MURARA<sup>1</sup>  
FIORELLA ACQUAOTTA<sup>2</sup>  
SIMONA FRATIANNI<sup>3</sup>

**RESUMO:** O estudo abordar aspectos da variabilidade das precipitações pluviiais com objetivo de regionalizar e diferenciar as chuvas que ocorrem na bacia do Rio Itajaí, Santa Catarina. Por meio de uma análise rigorosa os dados foram submetidos a um controle de qualidade intensa, em escala diária. A análise técnica de agrupamento foi realizada para identificar áreas no interior da bacia. Por meio da utilização de 31 estações meteorológicas, os resultados apontam para três áreas na bacia que se diferenciam quanto a quantidade mensal, sazonal e densidade das precipitações.

**Palavras-chave:** Variabilidade; Análise cluster; Densidade; Sazonalidade.

**ABSTRACT:** This study aimed to address issues related to variability of rainfall in order to regionalize the rains in the Itajaí river basin, Santa Catarina. Through rigorous analysis of the data were subjected to an intensive quality control, an accurate historical research in daily scale. The cluster technical analysis was performed to identify climate areas within the basin. The results point to three areas in the basin, identifying that, while the total annual precipitation are very similar to seasonal distribution differs between the internal areas of the basin.

**Key words:** Variability; Cluster analysis; Density; Seasonality

## 1 – Introdução

Cientistas do clima tem dedicado especial atenção aos extremos dos elementos climáticos após os resultados apresentados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007; 2014) apontando para o aumento da ocorrência de eventos extremos em todo o mundo. Por repercutir-se em impactos severos nas sociedades e no meio ambiente, os eventos extremos tornaram-se foco de diversos estudos e pesquisas realizados em grande escalas, tais como: Europa (KLEIN TANK & KÖNNEN, 2003) e América do Sul (RUSTICUCCI, *et al.*, 2010; MARENGO, *et al.*, 2010) ou em regiões e países de várias parte do globo como: Estudos Unidos (THIBEAULT & SETH, 2014; WHAN & ZWIERS, 2015),

<sup>1</sup> Professor da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim. [pedro.murara@uffs.edu.br](mailto:pedro.murara@uffs.edu.br)

<sup>2</sup> Pesquisadora da Università degli Studio di Torino. [fiorella.acquaotta@unito.it](mailto:fiorella.acquaotta@unito.it).

<sup>3</sup> Professora e Pesquisadora da Università degli Studio di Torino. [simona.fratianni@unito.it](mailto:simona.fratianni@unito.it)

Canadá (FORTIN, *et al.*, 2016; GAITAN, *et al.*, 2014), Brasil (ZANDONADI, *et al.*, 2015; ALVES, *et al.*, 2015; DEBORTOLI, *et al.*, 2015), Etiópia (DEGEFU & BEWKET, 2014), Itália (ACQUAOTTA & FRATIANNI, 2013), China (HU, *et al.*, 2014) entre outros.

Mesmo com esses esforços, reconhecemos que a abordagem da análise na escala regional dos estudos de mudanças nas condições extremas de temperatura e precipitação ainda são escassos. Uma das principais razões é dada pela identificação de eventos extremos requerer série temporais precisas, completas e espacialmente coerente em escala diária. No entanto, os dados diários estão entre as principais dificuldades para aqueles dispostos a realizar uma análise mais detalhada (MARENGO, *et al.*, 2009; ACQUAOTTA & FRATIANNI, 2014). No Brasil, ou em outros países da América do Sul, as principais dificuldades estão relacionadas à ausência de estações de longo prazo e também para a má qualidade da série de dados.

Caracterizar os elementos climáticos, suas variabilidades e tendências de extremos se faz necessário para posteriormente avaliar possíveis impactos de fenômenos climáticos, ou de origens climáticas, se repercurtem no espaço. Atualmente, no contexto das alterações climáticas, conhecer a dinâmica da atmosfera de uma determinada região torna-se vital para o processo de adaptação.

O estado de Santa Catarina é frequentemente afetado por sistemas atmosféricos que geram forte chuvas, cuja situação se repercurte em grandes danos e situações de perdas para os diferentes setores da economia e da sociedade civil (HERRMANN, 2014). A bacia do Rio Itajaí tem sido palco de precipitações intensas que resultam no aumento do nível dos rios, causando inundações e deslizamentos de terra que afetam diretamente a população local (HERRMANN, 2014).

Estudos foram conduzidos com o objetivo de compreender as precipitações na Bacia do Rio Itajaí por meio da investigação da dinâmica atmosférica, tipos de tempo, principais causas da precipitações e suas variabilidade ao longo dos anos (MONTEIRO, 2001; AVERSA, 2011), ou com relação a distribuição das chuvas ao longo dos anos, meses e estações (NERY, *et al.*, 2000; MITTERSTEIN & SEVERO, 2007; FONTÃO, 2011; AVERSA, 2011), e ainda, a relação com fenômenos de larga escala como ENSO e ODP (MONTEIRO, 2001; NERY, *et al.*, 2000).

No entanto, poucos estudos tem utilizados de dados diários dos elementos climáticos para a Bacia do Rio Itajaí. Devido a ausência de uma análise consistente de dados na escala diária torna-se um impedimento a utilização de dados nesta escala, o que se reflete na não identificação, por exemplo, da variabilidade de tempo curtos e tendência de eventos extremos em diferentes áreas da bacia (PINHEIRO, 2006).

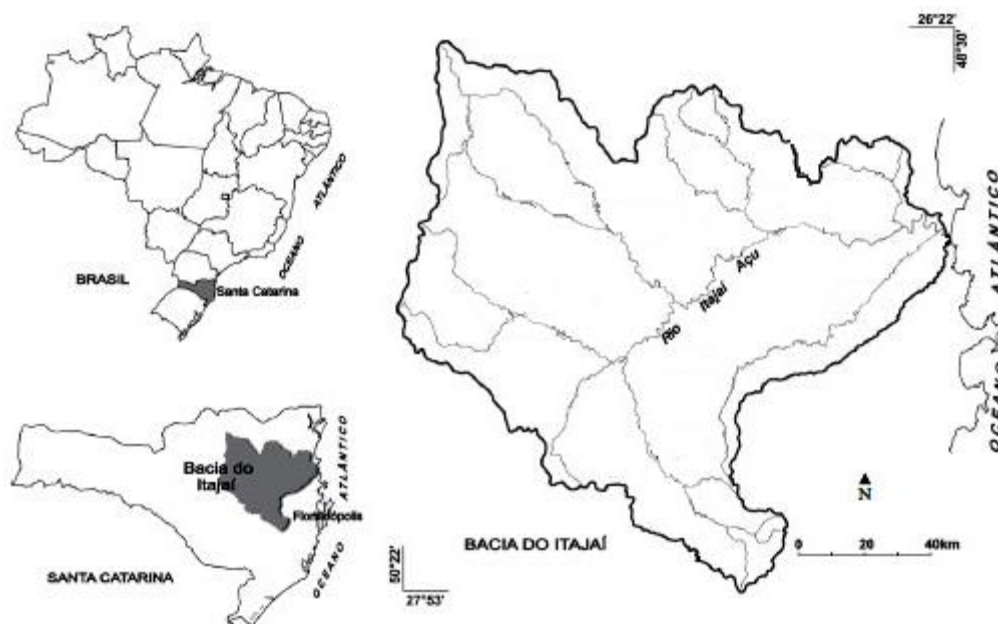


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Jacobi, *et al.*, 2013 (adaptado).

Neste sentido, nos propomos a uma análise dos dados de precipitação dos postos pluviométricos da Bacia do Rio Itajaí com vistas a caracterização e regionalização das precipitações pluviométricas.

## 2 – Material e métodos

Dados diários de precipitação pluviométrica foram coletados junto a Agência Nacional de Águas (ANA), assim como de postos pluviométricos do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), totalizando 95 postos de coleta.

Inicialmente foi executado o processo de análise e controle de qualidade dos dados objetivando verificar possíveis falhas nas séries diárias. Este consistiu em pesquisa histórica junto às Instituições de coleta de dados. Foi necessária organização e sistematização das séries de modo a identificar e destacar possíveis rupturas ou falhas de dados (ACQUAOTTA & FRATIANNI, 2014).

Um controle de qualidade de dados foi aplicado para identificação de metadados objetivando avaliar a homogeneidade da série meteorológica. Para estimar as lacunas, calculamos as médias mensais e anuais acumuladas de cada série para cada estação meteorológica. Consideramos para o estudo apenas os valores mensais se, pelo menos, 80% dos dados diários estivessem disponíveis (KLEIN TANQUE, *et al.*, 2002; SNEYERS, 1990) e, para os valores anuais, consideramos as séries apenas se, pelo menos 96% dos

dados diários estivessem disponíveis (ACQUAOTTA, *et al.*, 2009; KLEIN TANK & KÖNNEN, 2003; VENEMA, *et al.*, 2012).

Objetivando utilizar série mais longa possíveis de dados, identificou-se localidades que possuem duas ou mais estações. Estas foram analisadas quanto a possibilidade de um período que permitisse a reconstrução de dados por meio da sobreposição das séries, uma vez que o mesmo gradiente (precipitação), não ultrapassasse a diferença de elevação entre duas estações que deveria ser inferior a 200m e a distância entre ambas não poderia ser superior a 20km (BIANCOTTI, *et al.*, 2005; ISOTA, *et al.*, 2013; ACQUAOTTA, *et al.*, 2016).

A fim de comparar apenas os dados existentes na série, quaisquer valores ausente em uma série também foram ajustados para estar faltando em sua contraparte, de modo a permitir apenas comparar valores existentes. Além disso, os valores diários de precipitação de menos de 1mm foram ignorados para evitar que um conjunto de valores influencie em pequenas alterações na precisão de medição. Testes não-paramétricos foram aplicados aos valores diários para avaliar as relações entre os pares de série, de acordo com a metodologia utilizada por Wang, *et al.* (2010) e Acquaotta, *et al.* (2016).

Para melhorar o conjunto de dados, utilizamos estações meteorológicas fora dos limites da bacia, porém, que justificam-se pela alta qualidade dos dados, e também à sua proximidade com a área de estudo, assegurando melhor cobertura espacial e maior qualidade das informações investigadas.

Uma vez identificadas as séries possíveis de utilização, foi realizada análise de cluster para identificar e compreender os padrões e possíveis áreas internas da bacia. A primeira fase do processo de agrupamento foi a estimativa de uma medida da semelhança. Neste trabalho, utilizou-se a distância Euclidiana, que de acordo Mimmack, *et al.* (2001) cuja as medidas são utilizadas para indicação de regionalização de dados climáticos. O segundo passo foi definir o método, que podem ser classificados em aglomerativo ou divisivo. Foi utilizado o método hierárquico aglomerativo de Ward, que identifica a menor variação entre os grupos, juntando elementos cuja soma dos quadrados entre eles é mínima ou que o erro desta soma é mínima. Como variáveis classificatórias usamos a precipitação acumulada mensal.

O cálculo de densidade de precipitação foi executado a partir da precipitação mensal acumulada dividido pelo número de dias em houve registro de precipitação, considerando apenas chuvas acima ou igual a 1mm. E por fim, foram elaborados diversos gráficos com as distribuições diárias, mensais, sazonais e anuais das precipitações.

### **3 – Resultados e Discussão**

Das 95 (noventa e cinco) estações meteorológicas identificadas e localizadas na área de estudo, 14 (quatorze) estações meteorológicas não possuíam dados disponíveis, o que reduziu para 81 (oitenta e um), o número total de estações com dados.

Após consulta as instituições fornecedoras dos dados, por meio de contato por e-mail e acesso aos relatórios técnicos e de fiscalização das estações de monitoramento, identificou-se que alguns postos de coleta foram fechados, outros mudaram de localização por razões diversas, ou ainda, em algumas estações seus instrumentos de medição foram alterados. Desta forma, reduziu-se para 49 (quarenta e nove) o número de estações meteorológicas na área de estudo que estão atualmente em operação.

Em seguida, foram identificadas localidades (municípios) com mais de uma estação meteorológica que, somaram 15 (quinze) localidades identificadas com séries de dados com possibilidade de sobreposição, comparação e reconstrução de séries com base em estações próximas. Com período de sobreposição variando entre 1 (um) e/ou 5 (cinco) ano apenas 3 (três) localidades apresentaram par de série de dados cuja comparação foi possível (distância e altitude adequada).

Após análise de sobreposição entre os pares de estações, apenas 1 (uma) das 3 (três) localidades foi considerada, pois as duas outras não possibilitou considerar a sobreposição. As séries de dados foram então submetidas ao teste de homogeneidade, resultando em 34 série de dados possíveis para utilização e análises.

Considerando o maior número de estações meteorológicas o ano de 1983 foi selecionado como ponto de início para as análises que utilizaram dados até o ano de 2014, resultando em 31 (trinta e um) estações meteorológicas (Figura 2). Além da utilização de uma menor periodização das séries históricas, a fraca qualidade dos dados também levou a uma diminuição do número de estações utilizada na análise.

Com relação a análise dos dados disponíveis, os resultados confirmaram a variabilidade da precipitação na bacia do Rio Itajaí. Embora os resultados do total anual de precipitação na bacia do rio Itajaí apresenta distribuição similar e homogênea, conforme apontado por Nimer (1979) e Monteiro (2001), a identificação de áreas internas da bacia, por meio de análise de agrupamento (cluster), permitiu identificar quais são, como são e que tipo de mudanças ocorreu em diferentes áreas no interior da bacia.

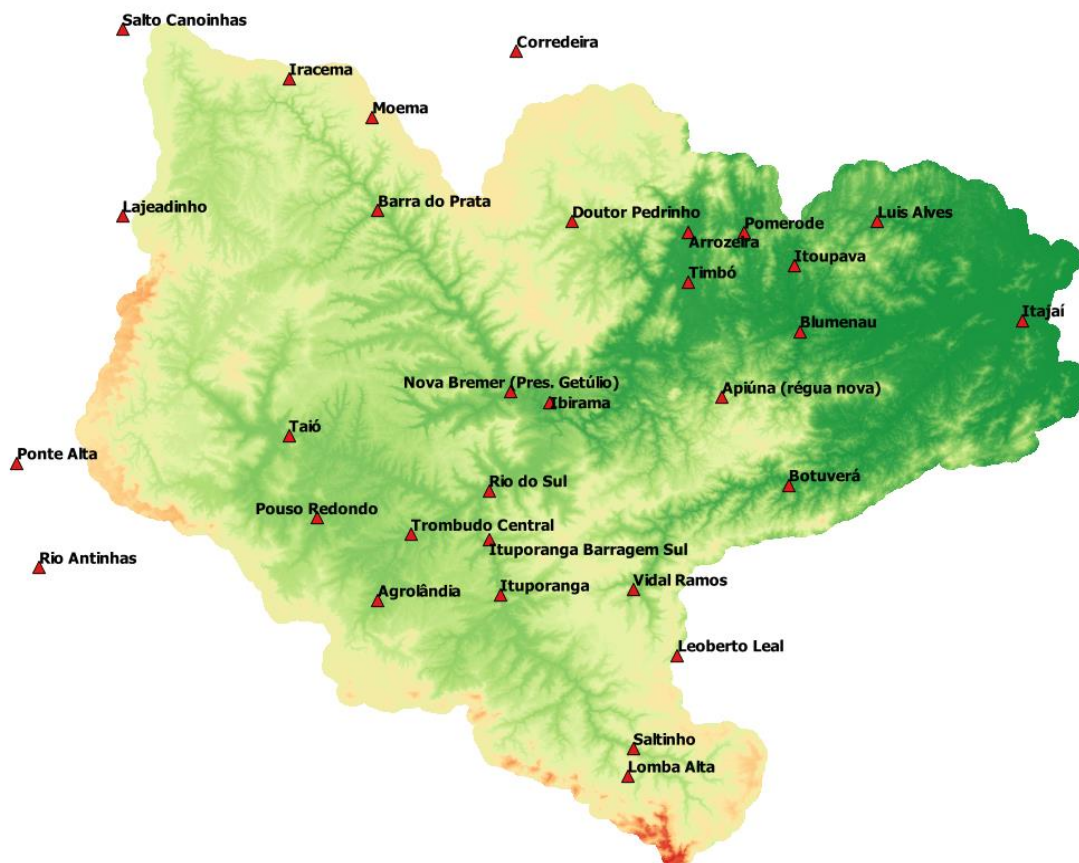
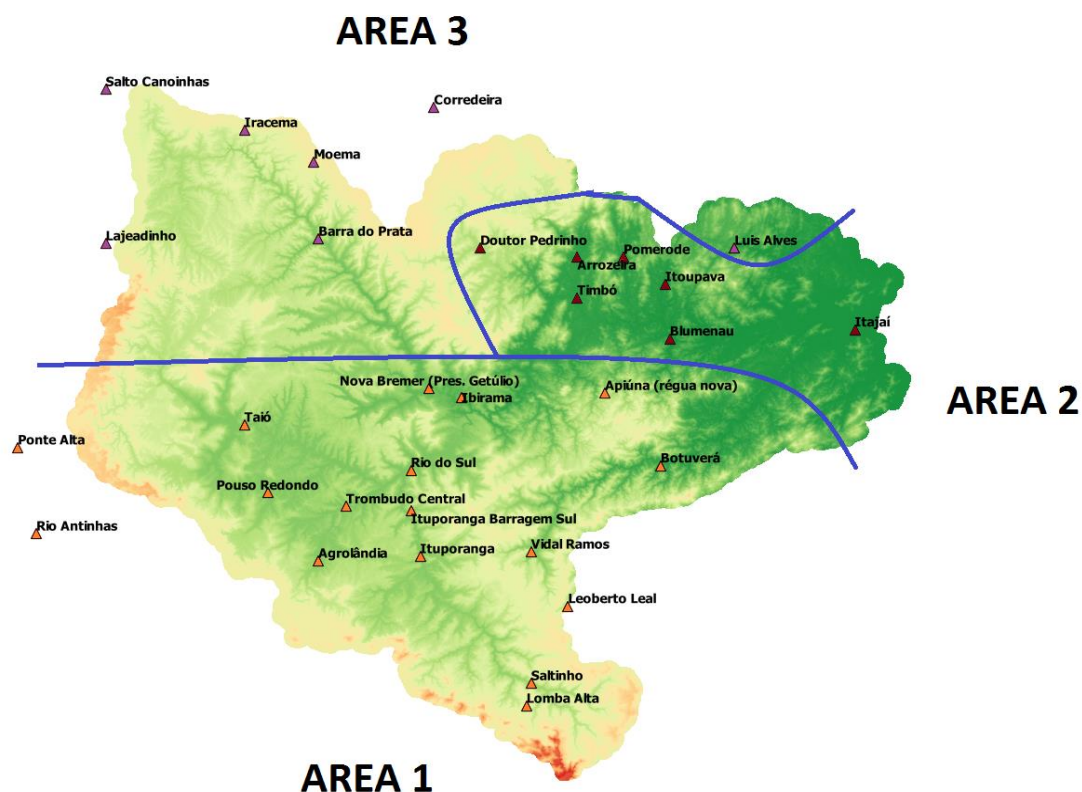


Figura 2. Localização das 31 estações meteorológicas.

A análise de agrupamento identificou três áreas (Figura 3): Sudoeste (área 1), Leste (área 2) e Norte (área 3), revelando uma redução nas áreas quando comparado com a pesquisa desenvolvida por Mitterstein & Severo (2007). Com valores de precipitação total mensal que varia entre as áreas, a estação de verão é identificada como a mais chuvosa, seguida pela primavera. No entanto, a redução de chuvas no outono e inverno mostra diferenças entre as três áreas. Para a área de estudo não é identificado período de seca.

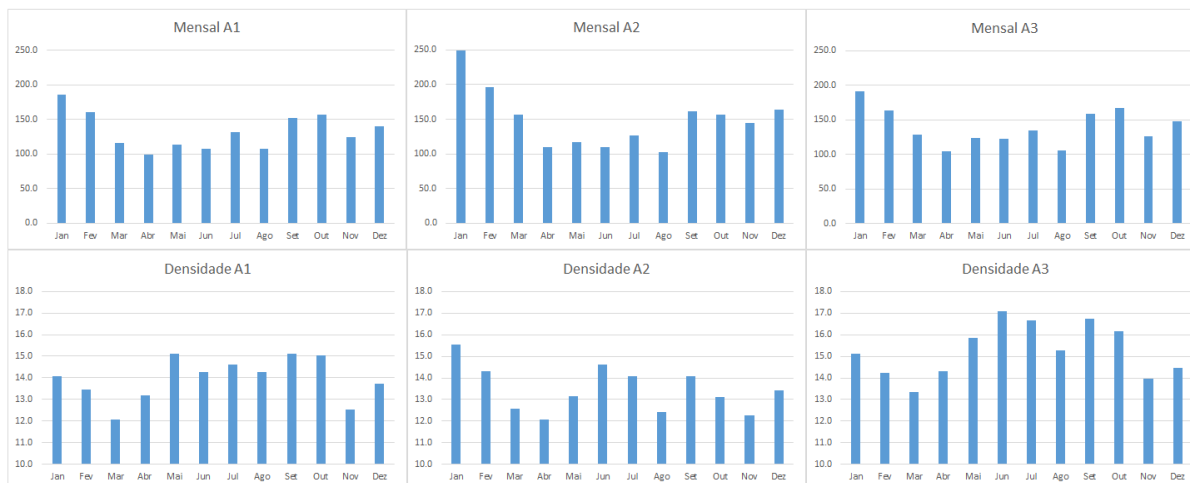
A área 1 (A1), tem os menores registros de chuva (1.595mm média anual) e, a densidade de precipitação variando de 12,1 a 15,1mm/dia (Figura 4). Nesta área, há uma concentração de centros urbanos e é onde ocorre geralmente as primeiras inundações. No entanto, é uma área de cabeceira de drenagem, bem como a área 3 (A3), a água da chuva escoar pelo rio Itajaí para a área 2 (A2), na qual desaguá no Oceano Atlântico. O rio encontra obstáculos em seus fluxos devido ao uso e ocupação do solo impedindo a saída que contribuem para a ocorrência de inundações no setor a jusante (A2). Para esta área (A1), a maior quantidade de chuvas ocorre no verão (30,5%), seguido da primavera (27,1%) e, valores próximos ao inverno (21,7%) e períodos de outono (20,6%). As densidades médias

diárias são superiores em primavera (14.2mm/dia) e de inverno (14,4mm/dia), de modo que nesta zona a chuva tende a ser mais intensa durante o período de primavera (Figura 5).



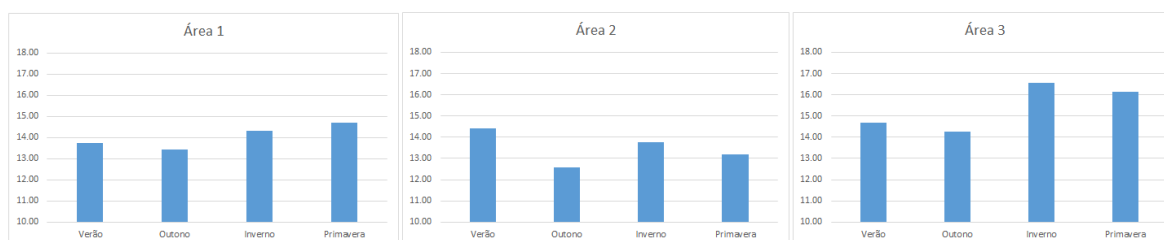
**Figura 3.** Regionalização, agrupamento (cluster) das estações meteorológicas.

Os maiores registros de precipitação total ocorrem na área 2 (média anual de 1.794mm). Influenciado pela maritimidade, a região se caracteriza por suas áreas planas, com altitudes máximas de 250m, trata-se do setor oriental da bacia do Itajaí, onde há grandes centros urbanos e onde as inundações ocorrem principalmente (Defesa Civil, 2015). Embora os valores da densidade sejam mais baixos em média nesta área, que varia 12,1 - 15,5mm/dia (Figura 4), a A2 apresenta os casos com os totais de precipitação mais elevados sugere a ocorrência de chuvas intensas. A maior quantidade de chuvas ocorre no verão (34%), seguido pela primavera (25,7%), mas, ao contrário área 1, seguem os períodos de outono e inverno que são identificados por menores registros de precipitação. No entanto, a densidade média diária é muito semelhante entre verão e inverno estações, 14,4 e 13,7mm/dia, respectivamente indicam nestas estações a ocorrência de chuvas intensas (Figura 5).



**Figura 4.** Distribuição mensal e densidade das precipitações ao longo do ano.

A área 3 tem o segundo maior recorde precipitação (média anual de 1.674m). Os maiores valores de densidade ocorrer especialmente nesta área, que vão 13,4 -17,1mm/dia, sugerindo chuvas intensas (Figura 4). Esta área é caracterizada por vazio demográfico e menor concentração de centros urbanos, presença e domínio de culturas agrícolas, pastagens e florestas, o que contribui para a ausência de estações meteorológicas. A maior quantidade de chuvas ocorre no verão (30,1%), seguido da primavera (26,9%) e, outono (21,3%) e inverno (21,7%). Nesta área, ao contrário do A2, a densidade média diária são superiores e semelhante em períodos de inverno (16.3 mm/dia) e a primavera (15.6 mm/dia), conforme figura 5.



**Figura 5.** Densidade das precipitações nas estações do ano.

#### 4 – Considerações finais

O presente artigo trata de uma análise histórica das precipitações pluviais na bacia do Rio Itajaí em Santa Catarina. Conforme apresentado, há pesquisa que se dedicaram na compreensão da dinâmica climática da referida área de estudo, assim como na análise das precipitações pluviais, porém, a ausência de dados na escala diária inviabiliza estudos que sob o enfoque dos extremos climáticos.



Por essa razão, fez-se necessário, inicialmente, um levantamento das estações meteorológicas existentes na bacia do rio Itajaí, seguido por uma rigorosa análise da consistência de dados para então, posteriormente, desenvolver análises na escala diária.

A metodologia de análise, sistematização, homogeneização e controle de qualidade de dados é baseada nos estudos e pesquisas desenvolvidos na Universidade de Torino (Itália) da qual celebra parcerias com as Universidades Brasileiras. Com intuito de identificar variabilidades, tendências e eventos extremos para a região de estudo, o presente artigo apresenta os primeiros resultados do projeto de pesquisa desenvolvido na bacia do Rio Itajaí.

## **5 – Referências**

ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S. Analysis on Long Precipitation Series in Piedmont (North-West Italy). **Am J Clim Change** 2:14–24, 2013.

ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S. The importance of the quality and reliability of the historical time series for the study of climate change. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 10, Vol. 14, Jan/Jul, 2014.

ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; VENEMA, V. Assessment of parallel precipitation measurements networks in Piedmont, Italy. **International Journal of Climatology**, 2016.

ALEXANDER, L.; YANG, H.; PERKINS, S. ClimPACT Indices and software. **Climate Research Branch Environment Canada**: Downs view, Ontario, Canada, 2013.

ALVES, T.L.B.; AZEVEDO, P.V.; SANTOS, C.A.C. Influence of climate variability on land degradation (desertification) in the watershed of the upper Paraíba River. **Theor Appl Climatol**, 2015.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Acesso em novembro 2015. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>

BIANCOTTI, A.; DESTEFANIS, E.; FRATIANNI, S.; MASCIOTTO, L. On precipitation and hydrology of Susa Valley (Western Alps). **Geografia Fisica e Dinamica del Quaternario suppl.** VII: 51-58, 2005.

COMITE DO ITAJAÍ. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. Blumenau: Fundação Agência de Águas do Vale do Itajaí, p. 80, 2010.

DIAS, M.A.F.S. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina**: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. 2008. Disponível em: [www.ciram.com.br/GTC/downloads/NotaTecnica\\_SC.pdf](http://www.ciram.com.br/GTC/downloads/NotaTecnica_SC.pdf) Acessado em: 10/12/15.

DEBORTOLI, N.S.; DUBREUIL, V.; FUNATSU, B.; DELAHAYE, F.; OLIVEIRA, C.K.; RODRIGUES-FILHO, S.; SAITO, C.H.; FETTER, R. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971–2010). **Climatic Change**, 2015.

DEFESA CIVIL, **Governo do Estado de Santa Catarina**. 2015.

DEGEFU, M.A.; BEWKET, W. Variability and trends in rainfall amount and extreme event indices in the Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. **Reg Environ Change**, 14:799–810, 2014.

FORTIN, G.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; The evolution of temperature extremes in the Gaspé Peninsula (Canada). **Theoretical and Applied Climatology**, 2016.

GAITAN, C.F.; HSIEH, W.W.; CANNON, A.J. Comparison of statistically downscaled precipitation in terms of future climate indices and daily variability for southern Ontario and Quebec, Canada. **Clim Dyn**, 43:3201–3217, 2014.

GRIMM, A. M., The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. **J. Climate**, 16, 263–280, 2003.

HU, Y.; MASKEY, S.; UHLENBROOK, S. Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China. **Climatic Change**, 110:403–429, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.10.2015**. Acesso em nov., 2015. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa\\_dou.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm)

ISOTTA, F.; FREI, C.; WEILGUNI, V.; TADIĆ, M.; LASSEGUES, P.; RUDOLF, B.; PAVAN, V.; CACCIAMANI, C.; ANTOLINI, G.; RATTO, S.; MUNARI, M.; MICHELETTI, S.; BONATI, V.; LUSSANA, C.; RONCHI, C.; PANETTIERI, E.; MARIGO, G.; VERTAČNIK, G. The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data. **International Journal of Climatology**, 34 1657–1675, 2013.

JACOBI, P.R.; MOMM-SCHULT, S.I.; BOHN, N. Ação e reação: Intervenções urbanas e a atuação das instituições no pós-desastre em Blumenau (Brasil). **EURE** (Santiago), 39(116): pp. 243-261, 2013.

KLEIN TANK, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. **J Clim** 16:3665–3680, 2003.

KLEIN TANK, A.M.G.; WIJNGAARD, J. B.; KÖNNEN, G.P. Daily Dataset Of 20th-Century Surface Air Temperature And Precipitation Series For The European Climate Assessment. **Int J Climatol**. 22:1441–1453, 2002.

Marengo, J.A.; Ambrizzi, T.; Rocha, R.P.; Alves, L.M.; Cuadra, S.V.; Valverde, M.C.; Torres, R.R.; Santos, D.C.; Ferraz, S.E.T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Clim Dyn** (2010) 35:1073–1097 DOI 10.1007/s00382-009-0721-6

Marengo, J.A.; Rusticucci, M.; Penalba, O.; Renom, M. 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** (2010) 98:509–529. doi 10.1007/s10584-009-9743-7



Mittersteins, M. R.; Severo, D. L. Análise de variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação no Vale do Itajaí com a transformada de ondaletas. In: *Dynamis revista tecnocientífica*. Vol. 13, Nº 01, p. 01-10, out-dez, 2007.

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

Nery, J. T. ; Baldo, M. C. ; Martins, M. L. O. F. . O Comportamento da Precipitação na Bacia do Itajaí. *Acta Scientiarum (UEM)*, Maringá, v. 22, n.5, p. 1429-1435, 2000.

Nimer, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 1979.

Rusticucci, M.; Marengo, J.; Penalba, O.; Renom, M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. *Climatic Change* (2010) 98:493–508. doi 10.1007/s10584-009-9742-8

Severo, D.L. Estudo de casos intensos de precipitação no Estado de Santa Catarina. São José dos Campos, 1994. (Doctoral Thesis in Meteorology) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Sneyers (1990) On the statistical analysis of series of observations. Geneva, WMO N 143, p 192.

Venema VKC, Mestre O, Aguilar E et al (2012) Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Clim Past* 8:89–115. doi:10. 5194/cp8-89-2012.

Wang X, Chen H, Wu Y, Feng Y Pu Q. 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49: 2416-2436. doi: 10.1175/2010JAMC2376.1

Zandonadi, L.; Acquotta, F.; Fratianni, S.; Zavattini, J.A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). *Theor Appl Climatol* (2015) doi 10.1007/s00704-015-1391-4