

## AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA NO LITORAL CATARINENSE: ESTUDO DE CASO NAS CIDADES DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ, CAMBORIÚ E FLORIANÓPOLIS

*Knihs V. W.<sup>1\*</sup>; Vasques T.<sup>1</sup> Figueiredo M.<sup>2</sup>; Pinheiro V.<sup>2</sup>; Godoi J. R.<sup>3</sup>; Hoinaski L.<sup>4</sup>*

Esse trabalho teve como objetivo avaliar preliminarmente a qualidade da água da chuva no litoral catarinense, com ênfase na investigação da influência da urbanização no pH e condutividade. Para isso, foram analisados o pH e a condutividade em amostras de água da chuva coletadas em três cidades com diferentes níveis de urbanização: Florianópolis, Balneário Camboriú (BC) e Camboriú. Nas amostras coletadas em Florianópolis e BC (cidades mais urbanizadas) a mediana do pH foi de 5,83 e 5,88, respectivamente. O *t-test* revelou que os pH das amostras nestas cidades são estatisticamente semelhantes. Por outro lado, a água da chuva coletada em Florianópolis e BC foi estatisticamente mais ácidas do que em Camboriú (menos urbanizada), que apresentou mediana de 6,30. As condutividades das amostras de BC, Camboriú e Florianópolis foram de 8,00; 9,00 e 20,0  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , respectivamente, sendo semelhantes nas cidades de BC e Camboriú ( $p < 5\%$ ). Por serem próximas, BC e Camboriú são afetados por fontes semelhantes que conferem a condutividade nas amostras. Apesar do número limitado de dados e pontos de coleta, através deste trabalho é possível levantar a hipótese de que a qualidade da água da chuva pode apresentar características distintas em locais urbanizados e rurais.

**Palavras-Chave** – Água da chuva, poluição atmosférica, deposição úmida.

### PRELIMINAR EVALUATION OF THE RAINWATER QUALITY IN SANTA CATARINA'S COAST: A CASE STUDY IN THE CITIES OF BALNEÁRIO CAMBORIÚ, CAMBORIÚ AND FLORIANÓPOLIS

This research had as objective to evaluate preliminarily the quality of the rainwater in the Santa Catarina coast, with emphasis in the investigation of urbanization influence in pH and conductivity. Therefore, it was analyzed the pH and the conductivity in water samples of rainwater collected in three cities with different levels of urbanization: Florianópolis, Balneário Camboriú (BC) and Camboriú. In the samples collected in Florianópolis and BC (more urbanized cities), the pH average was of 5,83 and 5,88 respectively. The *t-test* revealed that the pH of the samples in these cities are statistically similar. On the other hand, the rainwater collected in Florianópolis and BC was statistically more acid than in Camboriú (less urbanized), that presented an average of 6,30. The conductivities of the samples from BC, Camboriú and Florianópolis were of 8,00; 9,00 and 20,0  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , respectively, being similar in BC and Camboriú ( $p < 5\%$ ). For being close, BC and Camboriú are affected by similar sources that impart conductivity in the samples. Despite the limited number of data and collecting points, throughout this work is possible to raise the hypothesis that the rainwater can show distinct characteristics in urbanized and rural places.

**Keywords** – Rainwater, air pollution, wet deposition.

<sup>1</sup> Graduando Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC. E-mail: victoria.w.k@grad.ufsc.br

<sup>2</sup> Estudante de Técnico em controle Ambiental – IFC Campus Camboriú;

<sup>3</sup> Professor coorientador – IFC Campus Camboriú;

<sup>4</sup> Professor orientador – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFSC. E-mail: leonardo.hoinaski@ufsc.com.br

## INTRODUÇÃO

A deposição úmida é o processo de limpeza da atmosfera, removendo partículas e gases através da precipitação, sendo de extrema importância para a ciclagem e redistribuição de nutrientes sobre a superfície do planeta. A crescente urbanização e emissão de poluentes de origem antropogênica na atmosfera, somados aos processos naturais, elevam a concentração de contaminantes que são absorvidos e arrastados com a água da chuva. Sendo assim, apesar de necessária, a deposição úmida de poluentes atmosféricos é uma das principais responsáveis pela deterioração da qualidade da água da chuva (Rodrigues et al, 2007).

A reação da água com os poluentes do ar, como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ), gera produtos ácidos (ácido sulfúrico e nítrico), facilmente solubilizados em água. Esta reação dá origem ao fenômeno conhecido como chuva ácida (Brena, 2009). Por outro lado, a presença de elementos alcalinos na atmosfera, de origem natural ou antropogênica, pode neutralizar essa acidez da água da chuva e também interferir na qualidade da mesma.

A chuva ácida pode trazer diversos prejuízos para o ecossistema local, tanto para o solo quanto para os recursos hídricos. Segundo Pereira (2009), a presença de ácidos na água da chuva faz com que o corpo hídrico adquira também uma característica ácida, prejudicando a fauna e a flora, além de tornar a água imprópria para usos como irrigação, abastecimento e recreação. Glass et al (1988) realizou um estudo sobre os efeitos da chuva ácida em ecossistemas aquáticos na região de Adirondack nos Estados Unidos e em diversas localidades na Suécia. Os resultados mostraram que houve uma redução na reprodução de peixes, bem como uma diminuição do número total das espécies avaliadas em ambientes com pH inferior a 4,6.

Santa Catarina é o estado brasileiro com maior número de indústrias per capita (29 para cada 10.000 habitantes) (IBGE, 2013) e possui o maior número de carros por habitante do Brasil (IBGE, 2015). Além disso, no litoral catarinense se encontra a maior concentração de remanescentes e unidades de conservação da Mata Atlântica (Pinto et al., 2006), bioma brasileiro, que abriga mais de 8.000 espécies endêmicas (Myers et al., 2000). Esse ecossistema abriga também a maior parte dos recursos hídricos que abastecem cerca de 70% da população brasileira (IBGE, 2016). Apesar da coexistência entre fontes poluidoras do ar e ecossistemas naturais sensíveis, ainda são poucos os estudos que mostram a influência da urbanização na deterioração da qualidade da água da chuva em Santa Catarina, e seus efeitos nos ecossistemas locais, como os de Hoinaski *et al.* (2014) e Vasques *et al.* (2015).

O objetivo desse trabalho é avaliar preliminarmente a qualidade da água da chuva no litoral catarinense. Um estudo de caso nas cidades de Camboriú, Florianópolis e Balneário Camboriú (BC) foi conduzido para investigar a influência da urbanização no pH e condutividade da água da chuva. Florianópolis (capital do estado) e BC apresentam um maior grau de urbanização, população e frota automotiva. Camboriú é menos urbanizada e possui uma economia predominantemente agrícola. Amostras de água de chuva foram coletadas nos três locais e os parâmetro de pH e condutividade foram analisados.

## METODOLOGIA

Amostras de água de chuva foram coletadas durante o ano de 2016 em três municípios no estado de Santa Catarina: Balneário Camboriú, Camboriú e Florianópolis, totalizando 45 amostras (11 em BC, 26 em Camboriú e 8 em Florianópolis). A Figura 1 indica os locais de coleta em cada cidade. A Tabela 1 apresenta os dados econômicos e demográficos dos municípios (IBGE, 2016).

Tabela 1: Dados das localidades de coleta estimados para o ano de 2016

Parâmetro	Florianópolis	BC	Camboriú
População	477.798	131.727	76.592
Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	623,68	2.337,67	293,68
IDH	0,847	0,845	0,726
PIB per capita (reais)	32.385,04	32.105,78	12.843,36
Frota automotiva/km <sup>2</sup>	333,9	1.046,3	110,5

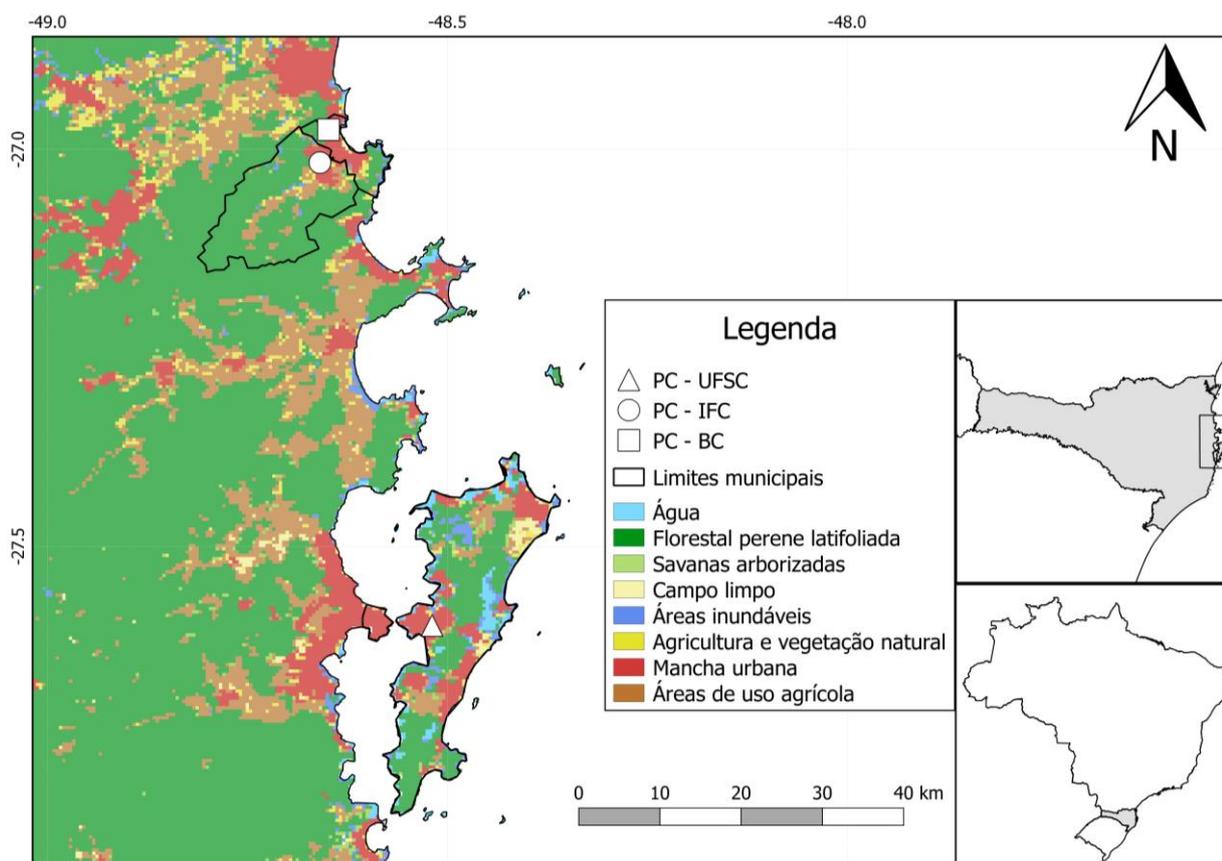


Figura 1: Mapa de localização dos pontos de coleta (PC) de água de chuva em Balneário Camboriú (BC) no Bairro das Nações, em Camboriú no Instituto Federal Catarinense (IFC – Campus Camboriú) e em Florianópolis no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

As coletas foram realizadas conforme o regime pluviométrico de cada cidade, utilizando uma metodologia desenvolvida pelo Laboratório de Controle e Qualidade do Ar (LCQAr) da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme descrito por Vasques *et al.* (2015). Os coletores possuem um diâmetro de 26 cm. A limpeza dos mesmos foi feita regularmente antes do evento chuvoso, utilizando água destilada e deionizada, para evitar contaminação das amostras. É

importante ressaltar que o número de amostras e os períodos de coleta de cada cidade são diferentes: de março a agosto em Camboriú (26 amostras), de abril a agosto em BC (11 amostras) e de abril a maio em Florianópolis (8 amostras).

### Análises Químicas e Estatísticas

Para cada amostra coletada foram analisados os valores de pH e condutividade. As medidas de pH foram efetuadas através do método potenciométrico, utilizando um pHmetro da marca Lutron modelo 206 (precisão de 0,02 unidades de pH), calibrado quinzenalmente com solução tampão de pH 7,00 e pH 4,00 (Synth). A condutividade foi medida utilizando um condutivímetro da marca Lutron CD 4303 (precisão de 1% da escala), utilizando uma micro célula termostatizada a 25°C.

A análise estatística dos dados coletados foi feita com o uso do software MATLAB<sup>®</sup>. O teste de hipótese de *Student (t-test)* foi aplicado para analisar as semelhanças estatísticas entre os valores das médias calculadas. O teste de hipótese de *Fisher (F-test)* foi utilizado para comparar a variabilidade das amostras nos diferentes pontos de coleta. Foi considerado para ambos os testes um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%. Para a condutividade foi necessário empregar uma transformação logarítmica para normalizar a distribuição e viabilizar a realização dos testes estatísticos supracitados.

### RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises do pH e Condutividade das amostras de água da chuva coletadas no ano de 2016. A Figura 2 representa o *boxplot* de cada parâmetro nos três pontos de coleta. Vale ressaltar que os resultados aqui apresentados são para o universo de 45 amostras no total.

Tabela 2: Valores das medianas dos parâmetros, máximos e mínimos e o desvio padrão (D.P.), além do número de amostras coletadas (n) para cada ponto de coleta.

Parâmetro	Pontos de coleta	Mediana	Máximo	Mínimo	D.P.	n
pH	IFC-Camboriú	6,30	6,96	5,22	0,44	26
	Balneário Camboriú (BC)	5,88	6,81	4,73	0,71	11
	UFSC-Florianópolis	5,83	6,34	5,55	0,28	8
Condutividade ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	IFC-Camboriú	9,00	67,0	1,00	43,2	26
	Balneário Camboriú (BC)	8,00	21,0	3,00	6,03	11
	UFSC-Florianópolis	20,0	130	7,00	43,2	8

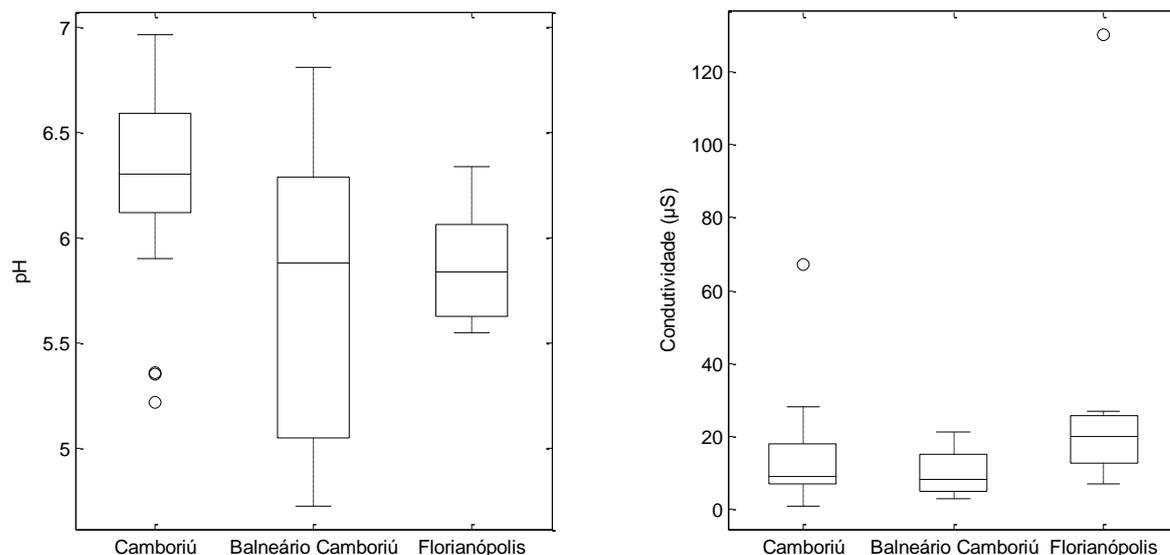


Figura 2: gráfico das distribuições do pH e da condutividade das amostras de Camboriú, Balneário Camboriú (BC) e Florianópolis.

Os valores de pH das amostras coletadas variaram de 5,22 a 6,96 em Camboriú, de 4,73 a 6,81 em BC e de 5,55 a 6,34 em Florianópolis. As medianas desse parâmetro em BC e Florianópolis se mostraram menores (5,88 e 5,83 respectivamente) do que em Camboriú (6,30). Segundo Cieslik (2004, apud Hoinaski et al., 2014), a água da chuva apresenta um valor natural de pH de 5,6, levemente ácido, causado pela presença de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera. Nenhuma das medianas apresentou valores inferiores a esse, mas é possível observar que em Camboriú 11,5% dos valores ficaram abaixo de 5,60, enquanto em Florianópolis e BC, 25% e 45,5% dos valores, respectivamente, se apresentaram abaixo do valor limite considerado como normal para o pH da água da chuva.

A amplitude dos valores da condutividade foi de 1,00 a 67,0  $\mu\text{Scm}^{-1}$  em Camboriú; de 3,00 a 21,0  $\mu\text{Scm}^{-1}$  em BC e de 7,00 a 130  $\mu\text{Scm}^{-1}$  em Florianópolis. A mediana para a condutividade em Camboriú foi de 9,00  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ; em BC foi de 8,00  $\mu\text{Scm}^{-1}$  e em Florianópolis de 20,0  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . No *xplot* (Figura 2) é possível observar que uma das amostras de Florianópolis apresentou um valor discrepante das demais. Hoinaski (2014) já apresentou em seus estudos que pela proximidade<sup>1</sup> com o mar, Florianópolis pode sofrer influência do spray salino que contém íons de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , influenciando nos valores da condutividade. Este mesmo fenômeno pode acontecer em BC e Camboriú, cidades também litorâneas. Além de litorâneas, os pontos de coleta em BC e Camboriú são relativamente próximos.

É importante ressaltar que não foi feita uma avaliação considerando a intensidade e volume da chuva coletada, nem os componentes presentes nas amostras. Portanto, condições meteorológicas distintas em cada cidade podem exercer influências nos resultados

Foram realizados testes estatísticos para verificar a semelhança entre as médias e variabilidade das amostras de pH e Condutividade nos pontos de coleta. O teste de *Student* aplicado para o pH (com  $\alpha$  igual a 5%), apresentou que as amostras coletadas em Florianópolis e BC, locais com características semelhantes de urbanização, apresentam médias similares ( $p = 0,483$ ). A emissão de poluentes atmosféricos em centros urbanos como Florianópolis e BC, pode ser uma das

<sup>1</sup> Distância aproximada dos pontos de coleta em relação ao mar: Florianópolis: 2,5 km; Balneário Camboriú: 1,5 km; Camboriú: 4,5 km.

explicações da semelhança e dos baixos valores de pH em ambas as cidades. As emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre ( $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ ), bem como de  $\text{CO}_2$ , por automóveis e indústrias, podem tornar o pH da chuva ainda mais ácido.

Na cidade de Camboriú, predominantemente rural, a média do pH se apresentou mais alta que nas outras cidades estudadas. O *t-test* revelou que o pH médio da água da chuva coletada em Camboriú é diferente de Florianópolis ( $p = 0,027$ ) e de BC ( $p = 0,005$ ). Além de ser menos urbanizada, em Camboriú ainda existe a hipótese de que a atividade agropecuária emita amônia na atmosfera, neutralizando o pH da água da chuva. Em estudo apresentado por Rodrigues *et al.* (2007), já foi verificada a relação entre altas concentrações de amônio emitido por atividades agropecuárias e altos valores de pH. Isso pode explicar as características menos ácidas das amostras em Camboriú. Em Camboriú o pH se mostrou mais elevado do que o valor de 5,60, considerado como limite inferior do pH da água da chuva sem presença de ácidos fortes.

A variância do pH foi analisada pelo teste de hipótese de Fisher (com  $\alpha$  igual a 5%). As distribuições de BC e de Florianópolis são consideradas estatisticamente diferentes com um valor de  $p$  de 0,021. Quando comparadas as distribuições de Camboriú com as outras duas localidades, Florianópolis e BC, as distribuições são semelhantes. Devido ao número reduzido de dados não foi possível tirar conclusões significativas sobre a variabilidade das amostras.

Assim como o pH, a condutividade é influenciada pelas fontes de poluição do ar na região. Os três locais estudados se encontram no litoral catarinense e devido à proximidade ao mar, podem sofrer influência do spray salino e da ressuspensão da areia da praia. Estas fontes contribuem com elementos salinos que alteram a composição química da água da chuva, e conseqüentemente sua condutividade. Camboriú e BC são cidades próximas geograficamente e, portanto, afetadas fontes semelhantes de emissão de poluentes que conferem a condutividade na água da chuva. O *t-test* (com  $\alpha$  igual a 5%) mostrou que os valores das médias de Camboriú e BC são estatisticamente iguais, com um valor de  $p$  igual a 0,548. Por outro lado, a média de Florianópolis (cidade mais afastada de BC e Camboriú), quando comparada com Camboriú e BC, apresentou-se significativamente diferente, com um valor de  $p$  de 0,048 e de 0,023 respectivamente.

O teste de hipóteses de Fisher das análises de condutividade revelou que todos os locais variam semelhantemente. Os valores de  $p$  obtidos foram de 0,327 (Florianópolis e BC), 0,390 (BC e Camboriú) e 0,709 (Camboriú e Florianópolis).

A Tabela 3 mostra uma comparação dos valores obtidos para as médias dos parâmetros nas três localidades estudadas, Ilha Grande (RJ) (De Souza et al., 2006) e na Bacia do Alto Sorocaba (SP) (Da Conceição et al., 2011).

Tabela 3: Médias dos parâmetros medidos em Camboriú, BC e Florianópolis (SC), Ilha Grande (RJ) e na Bacia do Alto Sorocaba (BAS), coletado no reservatório de Itupararanga (SP).

Parâmetro	Camboriú (SC)	Balneário Camboriú (SC)	Florianópolis (SC)	Ilha Grande (RJ)	BAS (SP)
pH	6,26	5,68	5,87	5,22*	6,23*
Condutividade ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	13,8	10,0	33,1	41,2	17,3

\* MPV - médias ponderadas pelo volume

Ilha Grande apresenta características geográficas parecidas com Florianópolis e BC. Por ser uma ilha, sofre influência direta do oceano, além de estar sujeita a receber poluentes atmosféricos de grandes centros urbanos como Rio de Janeiro e São Paulo. É possível observar que os valores do pH e condutividade de Ilha Grande são parecidos com os resultados encontrados em Santa Catarina nas cidades litorâneas (BC e Florianópolis). Os valores encontrados na Bacia do Alto Sorocaba, local mais afastado do mar e com economia predominantemente agrícola, se mostram mais parecidos com o valor encontrado em Camboriú. Com os valores e comparações apresentados, é possível observar que os resultados se comportam conforme a hipótese de que a urbanização influencia na qualidade da água da chuva. Apesar das limitações da base de dados do presente trabalho, foi possível observar que os locais com maior taxa de urbanização apresentaram valores mais ácidos de pH do que os locais menos urbanizados e afastados de aglomerações urbanas.

## CONCLUSÃO

Neste estudo foi realizado uma avaliação preliminar da qualidade da água da chuva em três municípios do litoral catarinense: Florianópolis, Balneário Camboriú (BC) e Camboriú. As medianas do pH foram de 5,83 para Florianópolis, 5,88 para BC e de 6,30 para Camboriú. A análise estatística realizada mostrou que os valores de Florianópolis e BC podem ser considerados iguais, e quando comparados com Camboriú são mais ácidos. Este comportamento se apresentou de forma parecida com outros estudos realizados nessa área, onde a urbanização influencia na qualidade da água da chuva.

Para a condutividade, os valores das medianas foram de  $8,00 \mu\text{Scm}^{-1}$  para BC,  $9,00 \mu\text{Scm}^{-1}$  para Camboriú e de  $20,0 \mu\text{Scm}^{-1}$  para Florianópolis. Os valores de BC e Camboriú são considerados estatisticamente iguais. O valor encontrado para Florianópolis pode ser considerado significativamente diferente quando comparado à BC e Camboriú. Pelo fato de serem cidades litorâneas, as cidades deste estudo sofrem influência do spray salino e ressuspensão do solo das praias. Estas fontes contribuem com o aumento íons que conferem a condutividade na água da chuva.

É importante ressaltar que o estudo foi realizado com um número limitado de amostras e em poucos pontos de coleta. O fato de as amostras terem sido coletadas em diferentes períodos também deve ser levado em consideração. É necessária uma análise mais aprofundada, com um maior número de dados e pontos de coleta no estado de Santa Catarina. Além disso, o estudo mais detalhado da composição química das amostras da água da chuva, em conjunto com uma avaliação das condições meteorológicas fornecerão informações mais consistentes sobre as possíveis fontes de emissão dos poluentes que afetam a qualidade da água da chuva em SC.

## REFERÊNCIAS

- DA CONCEIÇÃO, F. T. et al. Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do alto sorocaba (SP). **Química Nova**, v. 34, n. 4, p. 610–616, 2011.
- DE SOUZA, P. A. et al. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 471–476, 2006.
- HOINASKI, L. et al. Investigation of rainwater contamination sources in the southern part of Brazil. **Environmental Technology**, v. 35, n. 7, p. 868–881, 2014.

IBGE. De Geografia E Estatística - Ibge. **Estatísticas do registro civil 2014**, v. 41, p. 1–81, 2015.

IBGE. **IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–8, 2000.

RODRIGUES, R. D. A. R.; DE MELLO, W. Z.; DE SOUZA, P. A. Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de floresta ombrófila densa montana na Serra Dos órgãos, RJ. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 1842–1848, 2007.

VASQUES, T. V.; LISBOA, H. D. M. Monitoramento da qualidade da água da chuva no campus da UFSC em Florianópolis, e análise da trajetória de partículas com modelo HYSPLIT. 2015.

BRENA, N.A. (2009). *A chuva ácida e seus efeitos sobre as florestas*. 2ª Edição, Ed. Do Autor, São Paulo- SP, 208 p.

PINTO, L. P. (2006). Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. In *Biologia da conservação: Essências, 1ª edição*. Org. por Rocha, C. F. D., Bergallo, H. G., Sluys, M. V. e Alves, M. A. S., pp. 91-118