

**Avaliação da qualidade da água de chuva do município de
Florianópolis/SC**

Otávio Nunes dos Santos



Otávio Nunes dos Santos

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA DO
MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS/SC.**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para a
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Leonardo
Hoinaski

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Santos, Otávio Nunes

Avaliação da qualidade da água de chuva do
município de Florianópolis/SC / Otávio Nunes Santos ;
orientador, Prof.Dr. Leonardo Hoinaski, 2018.

91 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Poluição
atmosférica. 3. Chuva ácida. 4. Parâmetros
Meteorológicos. 5. Material Particulado. I.
Hoinaski, Prof.Dr. Leonardo . II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. III. Título.

Otávio Nunes dos Santos

**AValiação DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA DO
MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS/SC.**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 18 de junho de 2018.



Prof. Dr. Leonardo Hoinaski
Orientador

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Davide Franco
Membro da Banca



Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe
Membro da Banca

Dedico este trabalho ao meu avô Edmundo Ovídio Nunes (*in memoriam*), à minha avó Verônica Coelho Nunes e aos meus pais Ademir Euclides dos Santos e Maria da Glória Nunes dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria da Glória e Ademir, pelo apoio incondicional durante toda minha vida escolar e acadêmica e por desde a minha infância incentivar o aprendizado, o ensino e a educação. Obrigada por estarem sempre presentes em minha vida. Obrigada também as minhas irmãs, Natália e Heloísa, e ao meu irmão Luiz Miguel por estarem ao meu lado me motivando e me fazendo compreender a importância da família na formação do caráter de uma pessoa.

À minha encantadora namorada, Jennifer. Por sempre me fazer buscar o equilíbrio, o conhecimento, e a felicidade em realizar as coisas que tenho maior paixão.

Ao professor Leonardo Hoinaski, o qual considero um grande amigo, pela excelente orientação e suporte a este trabalho, pela amizade e incentivo pela busca incessante do conhecimento. Obrigado pelas conversas e por me apresentar o universo entusiasmante da ciência.

Aos professores Davide Franco e Pedro Luiz Borges Chaffe, por aceitarem participar da banca de defesa deste trabalho de conclusão de curso.

Aos bolsistas do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr), Eduarda e Gustavo, e aos amigos do Laboratório de Hidrologia (LabHidro), João Henrique e Pedro, que foram fundamentais na obtenção dos dados deste trabalho.

Agradeço também a todos os membros do LCQAr com os quais tive o prazer de conviver pela descontração e pelo aprendizado (Nathan, Thiago, Victoria, Gustavo, Anne, Fábio, Andy M., Andy B., Kelvin, Ariadne, Eduarda, Audrey, Júlia e Robson).

Ao amigo Vitor, pelas sugestões, contribuições e empenho em auxiliar a elucidar as reações químicas que ocorrem na atmosfera. Bem como por ceder o pHmetro para a realização das análises.

Aos amigos que fiz durante todo esse tempo de vida universitária: muito obrigada por se fazerem presentes durante minha trajetória na UFSC.

RESUMO

O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência da urbanização e das condições meteorológicas sobre a qualidade das águas de chuva em duas regiões localizadas no município de Florianópolis (distantes 14 km). Os pontos selecionados para estudo foram o Peri, situado no bairro Armação, e o *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizado no bairro Trindade, por possuírem graus de urbanização distintos. Na UFSC transitam milhares de automóveis todos os dias, o que contribui para a degradação da qualidade do ar local. O ponto de coleta do Peri está situado no Parque Municipal da Lagoa do Peri, importante Reserva de Preservação Ambiental. Os resultados deste trabalho mostraram que os valores de pH registrados para as chuvas coletadas durante o período em estudo variaram entre 4,28 a 7,15. Isto revela a ocorrência de chuvas ácidas no município estudado na presente pesquisa. Os dois locais de coleta apresentaram grande semelhança entre os valores de pH, indicando a atuação de uma fonte regional de poluição atmosférica na contaminação da água da chuva. Foram avaliadas as influências dos parâmetros meteorológicos: temperatura, pressão atmosférica, direção do vento, altura da base das nuvens e volume das precipitações; sobre o pH das amostras. Das variáveis citadas, as três últimas apresentaram correlações significativas. Foi possível observar que ventos oriundos da porção continental apresentaram valores de pH ligeiramente maiores, consequência do maior aporte de Material Particulado gerado nesta direção. A altura da base das nuvens forneceu importantes informações quanto ao principal processo de remoção atuante na atmosfera durante as precipitações (*washout*). Chuvas com maiores alturas pluviométricas apresentaram, no geral, caráter mais ácidos. Outro aspecto analisado foi quanto ao número de dias secos anteriores aos eventos de precipitação. Notou-se que durante períodos secos mais longos, as chuvas apresentavam caráter menos ácidas. Observou-se, que o MP₁₀ presente na atmosfera da UFSC atua na neutralização das águas de chuva do município de Florianópolis.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica, Chuva Ácida, Parâmetros Meteorológicos, Material Particulado.

ABSTRACT

The main goal of this research was to evaluate the urbanization and weather condition on the rainwater quality in two areas that are 14 km far from the city of Florianópolis. The places selected for the study were Peri that is in Armação neighborhood, and Universidade Federal de Santa Catarina(UFSC) that is in Trindade neighborhood, and they were chosen because they have different levels of urbanization. At UFSC there are thousands of cars every day, which contributes to the local air quality degradation. The collection place of Peri is at Parque Municipal da Lagoa doPeri, very important Environmental Preservation Reserve. The results of this research showed that the pH levels recorded for the collected rains during the study period vary between 4,28 to 7,15. That shows the occurrence of acid rain in the neighborhood researched. Both of places bear a very close resemblance between the pH levels, which indicates the action of a regional source of air pollution on the rainwater contamination. The meteorological parameters influences on the pH samples were evaluated: temperature, atmospheric pressure, wind direction, cloud base height and precipitation volume. From the mentioned variables, the last three presented strong correlations. It was possible to notice that winds proceeding from the continental part had slightly higher levels of pH during the precipitations as a consequence of bigger amount of particulate matter created toward that direction. The cloud base height provided important information in terms of the main process of acting removal in the atmosphere during the precipitations. Rains with higher heights of rainfall presented, in general, more acidity. Other aspect analyzed was in terms of the number of dry days before the precipitations. It was observed that during longer dryer periods, the rains were less acid. It was also noted that the MP₁₀ existent at UFSC atmosphere acts to neutralize the rainwater of Florianópolis city.

Keywords: Atmospheric Pollution, Acid Rain, Meteorological Parameters, Particulate Matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processos de remoção de poluentes da atmosfera.	37
Figura 2 - Climograma, período de 1970 a 2010, em Florianópolis - SC.	42
Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de coleta (PC) de água de chuva no campus da UFSC no bairro Trindade e no Peri no bairro Armação, ambos situados no município de Florianópolis.	44
Figura 4 - Localização do coletor pluviométrico instalado no <i>campus</i> da UFSC.	45
Figura 5 - Localização do coletor pluviométrico instalado no Peri.	46
Figura 6 - pHmetro modelo DM-23, utilizado na análise química.	48
Figura 7 - Amostrador de Grande Volume (AGV-MP ₁₀) situado na estação meteorológica do <i>campus</i> da UFSC.	49
Figura 8 - Pluviógrafo instalado na estação meteorológica do <i>campus</i> da UFSC.	51
Figura 9 - <i>Boxplot</i> das distribuições do pH das amostras do Peri e <i>campus</i> UFSC.	54
Figura 10 - Correlação entre o pH e dias da semana.	56
Figura 11 - Variação dos pH da água de chuva no período de outubro de 2017 a abril de 2018.	57
Figura 12 - Correlação entre o pH no <i>campus</i> da UFSC e do Peri.	58
Figura 13 - Correlação entre pH e temperatura no <i>campus</i> da UFSC (a) e Peri (b).	59
Figura 14 - Correlação entre pH e pressão atmosférica no <i>campus</i> da UFSC (a) e Peri (b).	60
Figura 15 - Rosa dos pH das águas de chuva para o período de Outubro/2017 a março/2008, nos pontos de coleta Peri (a) e UFSC (b).	62
Figura 16 - Rosa da mediana dos pH das águas de chuva para o período de Outubro/2017 a março/2008, nos pontos de coleta Peri (a) e UFSC (b).	63
Figura 17 - Rosa da mediana dos pH das águas de chuva para o período de Outubro/2017 a março/2008, nos pontos de coleta Peri (a) e UFSC (b), sobre a influência das componentes, Zonal e Meridional, do vento.	65
Figura 18 - Análise das distribuições do pH das águas de chuva a partir das componentes Zonal (a) e Meridional (b). “N” representa o número de amostras.	66
Figura 19 - Correlação entre altura da base das nuvens e pH das precipitações atmosféricas no <i>campus</i> da UFSC (a), no Peri (b) e na concatenação dos dados das regiões estudadas (c).	68
Figura 20 - Histograma das precipitações atmosféricas nos pontos de coleta.	70
Figura 21 - Correlação entre altura pluviométrica e pH das águas de chuva.	71
Figura 22 - Correlação entre dias secos consecutivos e pH das amostras no <i>campus</i> da UFSC (a) e Peri (b).	72
Figura 23 - Correlação entre a porcentagem de dias secos em uma semana e pH das amostras no <i>campus</i> da UFSC (a) e Peri (b).	73

Figura 24 - Correlação entre concentração de MP ₁₀ no <i>campus</i> da UFSC e número de dias secos consecutivos (a), e a porcentagem de dias secos em uma semana (b).	74
Figura 25 - Correlação entre MP ₁₀ e pH das águas de chuva, no <i>campus</i> da UFSC.	75
Figura 26 – Comportamento médio das temperaturas máximos no município de Florianópolis entre os anos de 1970 e 2010.....	88
Figura 27 - Comportamento médio das temperaturas mínimas no município de Florianópolis entre os anos de 1970 e 2010.....	89
Figura 28 - Comportamento da pressão atmosférica no município de Florianópolis entre os anos de 1970 e 2010.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de poluentes atmosféricos que compõem um Episódio Crítico de Poluição do Ar.	28
Tabela 2 - Tipos de fontes e os principais poluentes emitidos na atmosfera.....	33
Tabela 3 - Variação mínima e máxima em mg/L na composição química da água de chuva de origem continental e marinha.	36
Tabela 4 - Concentração média ponderada pelo volume da água de chuva ($\mu\text{eq L}^{-1}$) em diferentes locais no Brasil.	40
Tabela 5 - Dias coletas de água de chuva x dias coleta de material particulado	50
Tabela 6 - Valores das medianas dos parâmetros, intervalos de confiança (IC 95%) da mediana, mínimos e máximos para cada ponto de coleta.	53
Tabela 7 - Relação entre períodos de coleta das amostras e valores das medianas, mínimos e máximos pH, além do número de amostras coletadas (n) para o município de Florianópolis (Peri / UFSC).	55
Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros meteorológicos para o município de Florianópolis entre os anos 1981 e 2010.....	91
Tabela 9 - Medidas de pH, precipitação e temperatura, coletadas a cada evento amostrado no Peri e <i>campus</i> da UFSC.....	92
Tabela 10 – Resultados obtidos a partir dos testes estatísticos para as águas de chuva do Peri e <i>campus</i> da UFSC.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Art.	Artigo
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA ORD	Environmental Protection Agency Office of Research and Development
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
LCQAr	Laboratório de Controle da Qualidade do ar
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP ₁₀	Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor do que 10 µm
NH ₃	Amônia
OMS	Organização Mundial da Saúde
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SC	Santa Catarina
SO _x	Óxidos de Enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
HNO ₃	Ácido Nítrico
km	Quilômetros
Ca ²⁺	Cálcio
Fe	Ferro
H ⁺	Íon Hidreto
LCQAr	Laboratório de Controle e Qualidade do Ar
Mn	Manganês
Mg	Magnésio
NO	Óxido Nitroso
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
SO ₄ ²⁻	Sulfato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
1.1	OBJETIVOS	25
1.1.1	Objetivo Geral.....	25
1.1.2	Objetivos Específicos	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	27
2.1.1	Material Particulado.....	28
2.1.2	Aspectos que influenciam na dispersão de poluentes.....	29
2.1.3	Poluentes aéreos e influências meteorológicas.....	30
2.2	CHUVA ÁCIDA.....	33
2.2.1	Variações na composição química das águas de chuva em função da localização territorial	35
2.2.2	Processos de remoção de poluentes dentro (rainout) e abaixo da nuvem (washout).....	36
2.2.3	Ação da solubilidade sobre a composição química das águas de chuva	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
3.2	METODOLOGIA EMPREGADA NA COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA	46
3.3	COLETA E MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP ₁₀)	48
3.4	ANÁLISE DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS	50
3.5	ANÁLISE DE DADOS	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DO pH DAS ÁGUAS DE CHUVA EM FLORIANÓPOLIS	53
4.2	INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS NO pH DAS ÁGUAS DE CHUVA	58
4.2.1	Temperatura	58
4.2.2	Pressão atmosférica	59
4.2.3	Direção do vento	61
4.2.4	Altura da base das nuvens.....	67

4.2.5	Volume das chuvas	69
4.3	INFLUÊNCIA DE DIAS SECOS NA ACIDEZ DAS ÁGUAS DE CHUVA.....	72
4.4	RELAÇÃO ENTRE MATERIAL PARTICULADO (MP ₁₀) E pH DAS ÁGUAS DE CHUVA.....	73
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	77
6	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS ENTRE 1970 E 2010.....	88
	ANEXO B – DISTRIBUIÇÃO MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS ENTRE 1970 E 2010.....	89
	ANEXO C – DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO PERÍODO ENTRE 1970 E 2010.....	90
	ANEXO D – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE FLORIANÓPOLIS 1981-2010.....	91
	APÊNDICE A – COLETAS DE ÁGUA DE CHUVA DURANTE O PERÍODO DE AMOSTRAGEM.....	92
	APÊNDICE B - DADOS ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS ESTUDADOS.....	94

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a caracterização das águas de chuva vem sendo largamente estudada devido ao aumento na emissão de poluentes de origem antrópica na atmosfera. Os impactos que as precipitações ácidas provocam nos ambientes naturais vão desde a deterioração das águas superficiais, do solo e da vegetação até monumentos antigos. Isto ocorre porque a chuva é um eficiente meio de remoção de poluentes gasosos e particulados da atmosfera (SANUSI *et al.*, 1996).

As precipitações ácidas são um problema ambiental sério nos Estados Unidos (LAMB, 2000) e em países da Europa (KLEEMOLA, 1993). Diante da necessidade de amenizar os efeitos adversos causados pela chuva ácida, estes países elaboraram programas eficientes de monitoramento das precipitações atmosféricas. Avaliações, tanto espaciais quanto temporais, da composição química das águas de chuva e seus efeitos em diferentes ecossistemas (lagos, florestas e solos) foram realizadas nestas regiões. No Brasil, os dados disponíveis sobre deposição úmida originam-se de iniciativas isoladas ou de grupos de pesquisas em algumas localidades e por períodos limitados. Há publicações sobre cidades da Amazônia (WILLIAMS *et al.*, 1997; HONÓRIO *et al.*, 2007), do estado de São Paulo (FORNARO *et al.*, 1993; LARA *et al.*, 2001; FORNARO & GUTZ, 2003; LEAL *et al.*, 2004), do estado Rio de Janeiro (MELLO, 2001; SOUZA *et al.*, 2006), do Rio Grande do Sul (MIGLIAVACCA *et al.*, 2004 e 2005) e de Santa Catarina (MARTINS, 2008; HOINASKI *et al.*, 2014; KNIHS *et al.*, 2017).

Os trabalhos realizados em Santa Catarina forneceram dados importantes quanto a composição química das águas de chuva do estado. Hoinaski *et al.*, (2014), ao investigar as fontes de contaminação das precipitações atmosféricas do município de Florianópolis, observou que estas têm origem natural e antrópica (tráfego de veículos). Porém, devido ao fato de dispor de um número reduzido de amostras, não foi possível obter resultados mais conclusivos. Com objetivo distinto, tanto a pesquisa de Martins (2008) quanto a de Knihs *et al.*, (2017) compararam as precipitações atmosféricas de diferentes cidades, caracterizando estudos em escala regional. Martins (2008) verificou que entre os municípios estudados (Criciúma, Florianópolis, São Martinho e Turbarão), a capital catarinense apresentou os menores valores de pH. Todavia, um parâmetro importante, não abordado em seu estudo, é quanto ao volume das precipitações. Sabe-se que a medida do volume das amostras de águas de chuva coletadas durante a pesquisa é essencial, já que pode influenciar diretamente na composição química das precipitações. Knihs *et al.*,

(2017), por sua vez, observou que os municípios de Florianópolis e Balneário Camboriú possuem, estatisticamente, os mesmos valores de pH das águas de chuva, e que quando comparados com Camboriú são mais ácidas. Porém, é importante ressaltar que seu estudo, além de contar com um número limitado de amostras e conter poucos pontos de coleta, foi realizado em períodos diferentes. O principal objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da urbanização sobre a qualidade das águas de chuva em dois pontos localizados no município de Florianópolis, a partir da investigação da variação da acidez nas precipitações atmosféricas. O intuito é contribuir para a compreensão do fenômeno de chuva ácida, em escala local, na capital do estado de Santa Catarina.

No período de outubro de 2017 a março de 2018, foi determinada a acidez das águas de chuva coletadas no *campus* da UFSC e no Peri, bem como os aspectos que a influencia (meteorológicos e de qualidade do ar). Sabe-se que as regiões estudadas apresentam níveis de urbanização distintas. A Universidade Federal de Santa Catarina está localizada no bairro Trindade, onde transitam milhares de automóveis todos os dias. O ponto de coleta do Peri (bairro Armação), está situado no Parque Municipal da Lagoa do Peri, importante Reserva de Preservação Ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar as influências da urbanização e parâmetros meteorológicos no pH da água da chuva do município de Florianópolis. A partir de coletores instalados em dois pontos da cidade (*campus* da UFSC e Lagoa do Peri), de grau de urbanização distintos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Objetivo específico 1: Comparar o pH da água de chuva dos dois pontos de coleta com níveis de urbanização diferentes.
Hipótese: Locais com diferentes níveis de urbanização apresentam pH da água da chuva diferentes.
- Objetivo específico 2: Avaliar a influência de parâmetros meteorológicos (direção do vento, temperatura, pressão atmosférica, altura da base da nuvem, volume das precipitações) sobre o pH da água de chuva.
Hipótese: A meteorologia tem papel importante na qualidade da água da chuva.
- Objetivo específico 3: Avaliar a influência dos dias da semana sobre o pH da água de chuva.
Hipótese: Dias com maior fluxo de veículos proporcionam a ocorrência de eventos com chuva mais ácida.
- Objetivo específico 4: Avaliar a relação entre o pH da água de chuva e Material Particulado (MP₁₀).
Hipótese: O MP₁₀ possui caráter alcalino e atua na neutralização da água da chuva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Por muito tempo considerou-se que a poluição do ar só deveria ser combatida devido aos riscos que representa à saúde humana. Porém, recentemente, controles mais rigorosos foram impostos para preservar, também, a qualidade de vida dos ecossistemas e vegetação. Isto, porque a maioria dos poluentes atmosféricos (com exceção do CO e alguns hidrocarbonetos) são, muitas vezes, mais prejudiciais aos animais do que ao homem. A poluição atmosférica é um problema de saúde pública, já atingindo proporções críticas (WHO, 2000).

Com o crescimento da população em áreas urbanas e consequente avanço da industrialização, surgiu a necessidade de elevar as demandas por energia. Porém, este desenvolvimento repentino resultou em um intenso aumento das emissões de poluentes, sendo a combustão de óleos fósseis a principal fonte de poluentes na atmosfera urbana. Espécies químicas como: dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO e NO₂, chamados NO_x), monóxido de carbono (CO) e Material Particulado em suspensão são os principais compostos lançados no ambiente (FORNARO, 2006).

Na tabela 1 podemos observar os valores propostos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), para eventos de poluição do Ar.

Tabela 1 - Níveis de poluentes atmosféricos que compõem um Episódio Crítico de Poluição do Ar.

Parâmetros	Tempo médio de exposição (h)	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em Suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	375	625	875
Partículas Inaláveis MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	800	1.600	2.100
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	1.130	2.260	3.000
Monóxido de carbono (ppm)	8	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	400	800	1.000

Fonte: Tabela elaborada pela CETESB em 2015, de acordo com a Resolução CONAMA N. 03/1990.

2.1.1 Material Particulado

O material particulado (MP) atmosférico é uma mistura complexa de partículas líquidas e sólidas (aerossóis), de tamanho na faixa entre poucos nanômetros até aproximadamente 100 μm , em suspensão no ar, sendo a mais evidente forma de poluição do ar em um centro urbano (SOUZA *et al.*, 2010).

De acordo com Hoinaski (2010, p. 39 apud USEPA, 2004) os principais constituintes do MP em suspensão no ar são o sulfato, nitrato, íons de hidrogênio e amônia, gotículas de água, carbono elementar, compostos orgânicos, sal marinho, metais, etc. Sendo as principais fontes, a ressuspensão de partículas do solo, emissões provenientes de sal marinho, queima de combustíveis fósseis para geração de energia em atividades industriais, uso de veículos (queima de combustível e emissões

dos pneus), atividades de queima de biomassa para agricultura, etc (TRESMONDI, 2003).

A concentração de cada espécie é dependente da região ou local onde o MP foi formado. O diâmetro das partículas também é determinado pelo mecanismo de geração do MP (USEPA, 2004).

Diversos trabalhos tanto no Brasil, quanto em outros lugares do mundo demonstraram a influência do MP₁₀ (partículas inaláveis com diâmetro inferior à 10µm) sobre a acidez das águas de chuva. Tresmondi (2003), ao estudar a qualidade do ar na cidade industrial de Paulínia/SP, revelou que o principal constituinte do MP₁₀ era o sulfato, resultado da oxidação do SO₂ na atmosfera. Dao *et al.* (2014) em seu estudo no norte da China (Shijiazhuang, Tianjin e Beijing), constatou que o NO₃⁻ e o SO₂ eram os principais formadores do MP₁₀ nas três regiões, marcadas pelas intensas emissões veiculares de poluentes. Por outro lado, Migliavacca *et al.* (2005) notou a influência de Material Particulado, contendo carbonatos e hidróxidos, na neutralização da acidez das amostras de chuva do município de Candiota/RS.

Estudos comprovam que as emissões veiculares de MP₁₀ contendo amônia aumentaram significativamente nos últimos anos, motivadas pela falta de regulamentação deste poluente. Segundo Borsari e Assunção (2017), o catalisador nos automóveis são responsáveis pela conversão de óxidos de nitrogênio (NO_x) em amônia, promovendo a emissão deste poluente na atmosfera.

Pesquisas como a de Penteadado *et al.* (2012), que mediram a emissão de amônia em motocicletas após o catalisador, comprovam o aumento no nível de emissões atmosféricas de NH₃. Daemme *et al.* (2013) encontraram um aumento substancial na emissão de amônia em motocicleta à gasolina. Livingston *et al.* (2009) e Bielaczyc (2012) também sugerem esse fenômeno.

2.1.2 Aspectos que influenciam na dispersão de poluentes

Segundo estudos de Davis e Cornwell (1991), Boubel *et al.* (1994) e Turco (1997), após lançados na atmosfera, os poluentes dispersam de acordo com um conjunto de fatores, são eles:

- Característica do Poluente emitido: No que se refere ao material particulado, partículas com tamanhos maiores alcançam somente as proximidades da fonte emissora. Na medida em que, partículas com dimensões reduzidas possuem a característica de

permanecerem por um elevado tempo em suspensão, de modo a serem capazes de percorrer distâncias superiores.

- Condições meteorológicas: Os parâmetros meteorológicos que influenciam na dispersão são: estabilidade, turbulência, velocidade e direção do vento.
- Efeitos do terreno: A dispersão é, também, influenciada pela disposição do meio em que o poluente é emitido. Nessa categoria, podemos considerar os ambientes como: estruturas urbanas, zonas costeiras, áreas montanhosas e áreas com vales.
- Características do local de emissão: Como os deslocamentos das massas de ar se dão em diversas escalas de tamanho, a dimensão da fonte é um fator que irá determinar a maneira como o poluente irá dispersar na atmosfera. Fontes especialmente pequenas são dispersas por movimentos de pequena escala de vizinhança, enquanto fontes maiores são influenciadas pelos movimentos de grande escala.

2.1.3 Poluentes aéreos e influências meteorológicas

A crescente urbanização alavancou o surgimento de novas fábricas e aumentou o número de veículos nas cidades, de modo que, atualmente, os níveis de poluentes gerados nos grandes centros variam de 20 a 60 toneladas de poeira e/ou fuligem anualmente, comprometendo a qualidade do ar que respiramos (VIANELLO e ALVES, 2000).

De acordo com estudos realizados por Boubel *et al.*, (1994), podemos definir poluentes aéreos como compostos formados principalmente por óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, amônia, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, metais pesados e Material Particulado, produzidos em diversas atividades industriais e nos grandes centros urbanos, em virtude da elevada circulação de veículos automotivos. A fonte predominante de poluição do ar em todos os países industrializados do mundo é o automóvel movido a gasolina. Esta fonte é a principal responsável pela redução da qualidade do ar, e agravamento da saúde da população (BOUBEL *et al.*, 1994).

O Banco Mundial (1998), descreve que a dispersão e a concentração de poluentes ao nível do solo são determinadas por uma complexa interação de características físicas da fonte (ex. chaminé), das características físicas e químicas dos poluentes, das condições

meteorológicas na proximidade da fonte e da topografia das áreas no entorno.

Estudos realizados pela World Health Organization & Global Environment Monitoring System (1992) apontam que além do tráfego veicular, as emissões domésticas e as fontes industriais são os principais responsáveis pela degradação da qualidade do ar. E revelam, ainda, que muitas vezes os problemas de poluição urbana são influenciados por fatores meteorológicos e topográficos, que frequentemente concentram poluentes na cidade e impedem a dispersão e a diluição adequadas. Muitas cidades estão cercadas por morros que podem agir como uma barreira contra o vento, aprisionando a poluição. De acordo com informações retiradas do estudo de Silveira *et al.* (2013), no qual caracterizam a direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina entre 1996 e 2012, Florianópolis apresenta o vento norte como predominante e o vento sul como de segunda maior ocorrência ao longo dos meses. Apesar destas direções serem as mais atuantes no município, o regime de ventos com predominância secundária apresenta característica bastante diversificada, com alternâncias de direções expressivas (SILVEIRA, 2013).

No estudo realizado por Hoinaski (2013), onde buscou-se investigar as fontes de contaminação da água de chuva no sul do Brasil, as direções principais do vento durante o período de amostragem foram norte-nordeste (NNE) e sul-sudeste (SSE). O autor relacionou a direção do vento com a concentração do pH das águas de chuva. Os valores de pH apresentados por Hoinaski (2013) indicam que as amostras mais ácidas são características de precipitações que estão sob influência das direções do vento nordeste e sudeste. Sendo a direção nordeste a que contribui para os menores valores de pH.

A deposição de íons em eventos de precipitação depende da quantidade de poluentes da região e adjacências e varia em função, além dos parâmetros já apresentados, do volume precipitado. A concentração de poluentes na precipitação é, em geral, inversamente proporcional ao volume precipitado (TRESMONDI, 2003). Trabalhos realizados por Honório (2007), Artaxo *et al.* (2006) e Williams *et al.* (2007) na região da Amazônia demonstraram que as amostras que apresentaram maior acidez estavam diretamente relacionadas aos meses com menores alturas pluviométricas do ano.

Em seu estudo, no município de Manacapuru/AM, Williams *et al.*, (1997) obtiveram pH das águas de chuva, da região, no período seco igual 4,5 enquanto no período chuvoso igual 5,0. Artaxo *et al.*, (2006) também verificaram resultados similares para a acidez das águas de chuva do

município de Balbina/AM. Para o período seco os pesquisadores obtiveram pH igual 4,5 e para o período chuvoso igual 4,9. Analogamente, Leal *et al.* (2004) em seu trabalho de análise das águas de chuva no centro da cidade de São Paulo relatou que nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, onde ocorrem as maiores precipitações, observou-se os maiores valores de pH. Demonstrando o processo de limpeza da atmosfera nos períodos chuvosos, além dos efeitos de diluição.

Um aspecto interessante no estudo de Mello (2001), a respeito da precipitação química na Região Metropolitana do Rio de Janeiro ocorrido entre setembro de 1988 e 1989, é a diferença nos valores de pH durante as estações secas e úmidas. Durante a estação seca do ano, obteve-se pH igual 4,89, já na estação úmida pH igual 4,70. No mesmo sentido, Martins (2008) ao caracterizar as águas de chuva da cidade de São Martinho/SC, encontrou valores de pH igual 6,48 na estação seca e pH igual 5,78 para a estação úmida. Honório (2007), por sua vez, encontrou dados semelhantes para a cidade de Boa Vista/RR (pH estação seca igual 5,33 e pH estação úmida igual 4,53) e Itapiranga/AM (pH estação seca igual 4,43 e pH estação úmida igual 3,40), ao analisar as águas de chuva da Amazônia Ocidental. Portanto, estes estudos apontam que existe a possibilidade de que o acúmulo de poluentes com caráter alcalino na atmosfera durante os dias secos neutralize a acidez das águas de chuva.

Na tabela 2 estão representadas as substâncias consideradas poluentes do ar e suas principais origens.

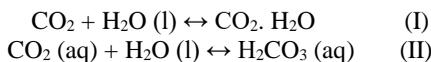
Tabela 2 - Tipos de fontes e os principais poluentes emitidos na atmosfera.

Modalidade da fonte	Tipos de fonte	Poluentes
Antropogênicas Fixas	Processos industriais	MP, SO _x , NO _x , CO, HC
	Caldeiras, Fornos e Aquecedores	MP, SO _x , NO _x , CO, HC
	Construção Civil	MP
	Queimadas Florestais	MP, Fumaça, SO _x , NO _x
	Exploração e beneficiamento	CO, HC
Antropogênicas Móveis	Estocagem de materiais fragmentados	MP
	Aviões	NO _x , HC, MP
	Navios e Barcos	MP, SO _x , NO _x , CO, HC
	Automóveis e motos	MP, NO _x , CO, HC, Aldeídos
	Caminhões e ônibus	MP, SO _x , NO _x , CO, HC
Naturais	Oceanos	MP
	Decomposição biológica	SO ₂ , NO ₂ , HC
	Praias, dunas	MP
	Queimadas	CO, NO _x , MP, Fumaça
	Superfícies sem cobertura vegetal	MP

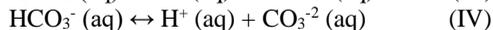
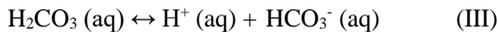
Fonte: Van Loon e Duffy, (2000)

2.2 CHUVA ÁCIDA

Uma questão bastante comum é a com relação ao estabelecimento do valor de pH abaixo do qual pode-se atribuir a denominação “ácida” para as águas de chuva. Se as gotas de chuva formadas por condensação na atmosfera fossem constituídas somente de água, o pH observado deveria ser normalmente em torno de 7,00. Entretanto, a dissolução natural de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico nas diferentes formas de chuva, tende a diminuir o valor do pH. O pH natural das águas de chuva é levemente ácido devido à dissociação do ácido carbônico (H₂CO₃), formado pelo equilíbrio entre o dióxido de carbono e a água (reações I e II), encontrados em abundância na atmosfera.

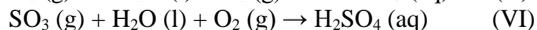
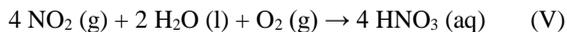


Apesar de ser um ácido diprótico fraco, suas dissociações (reações III e IV) liberam quantidades suficientes de H^+ capazes de diminuir o pH do meio para 5,65 (BERNER; BERNER, 1996).



Medidas de precipitação sobre oceanos, em áreas remotas, demonstraram que nestes locais os valores de pH são extremamente ácidos. Portanto, afirmar de maneira generalizada que pH menor que 5,65 é indicativo de atividades antrópicas pode levar a um grande erro. KEENE *et al.* (1983) concluíram que ácidos orgânicos, principalmente fórmico e acético, podem apresentar uma função importante no abaixamento do pH em áreas remotas. Segundo Seinfeld e Pandis (1998), é razoável considerar ocorrência de chuva ácida quando o pH for inferior a 5,0.

Nos grandes centros urbanos, normalmente em regiões metropolitanas, a poluição é mais abundante, graças a maior concentração de indústrias e ao grande fluxo populacional e de veículos, sendo a atmosfera o meio mais afetado. Consequentemente, devido ao fato da atmosfera ser um meio oxidante, alguns poluentes, como SO_2 e NO_x , depois de emitidos oxidam-se a ácido nítrico e ácido sulfúrico (reações V e VI, respectivamente), por meio de processos que ocorrem na fase gasosa e aquosa e que envolvem, na maior parte deles, os radicais hidroxila.



Estes processos originam a chamada chuva ácida, que vem a ser uma enorme fonte de ácido sulfúrico e nítrico (BRADY; WEIL, 1999).

A quantidade de substâncias depositadas e/ou transportadas pela chuva é influenciada principalmente pelas emissões locais e regionais, proximidade em relação ao nível do mar, condições meteorológicas (vento, altura da base da nuvem, pressão atmosférica, duração e intensidade da precipitação) (MIGLIAVACCA *et al.*, 2005), gases solúveis em água, gotículas formadoras das nuvens e partículas em suspensão. (SEINFELD e PANDIS, 1998; FINLAYSON-PITTS *et al.*, 2000).

2.2.1 Variações na composição química das águas de chuva em função da localização territorial

A composição da água de chuva varia de acordo com a localização geográfica do ponto de amostragem. Próximo ao oceano, a água de chuva apresenta elementos como sódio, potássio, magnésio, cloro e cálcio em concentrações proporcionais às encontradas na água do mar. Distante da costa, os elementos presentes são de origem terrestre: partículas de solo que podem conter sílica, alumínio e ferro, por exemplo, e elementos cuja emissão é de origem biológica, como o nitrogênio, fósforo e enxofre. Em áreas como centros urbanos e pólos industriais, passam a ser encontradas alterações nas concentrações naturais da água da chuva devido a poluentes do ar, como o dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) ou ainda chumbo, zinco e outros (TOMAZ, 2009).

Como exemplo de cidades que possuem fatores antrópicos de contaminação do ar em demaseio, São Paulo, na sua condição de megalópole, apresenta grande degradação da qualidade do ar, ocasionada principalmente por emissões veiculares. O estudo de Leal *et al.* (2004), realizado na Região Metropolitana de São Paulo, no período de março de 2002 a fevereiro de 2003 buscou caracterizar tanto o pH da água de chuva da região, quanto a condutividade, íons majoritários (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻) e a influência dos ácidos carboxílicos (acético, fórmico e oxálico). Como resultados, obtiveram um pH médio igual a 4,99, demonstrando se tratar da ocorrência de chuva ácida. Já com relação aos íons, a contribuição do NO₃⁻ foi superior aos demais ânions, enquanto houve uma predominância do NH₄⁺, por parte dos cátions.

Amostras de deposição úmida foram coletadas, no período de julho de 1989 a junho de 1990, por Williams *et al.* (1997) na região central da Amazônia. O local estudado, Lago Calado, encontra-se a 80 km a oeste de Manaus. O pH registrado, no ponto de análise, foi igual a 4,8 e os ácidos orgânicos foram determinados como a causa principal da acidez. Segundo os autores, a queima de biomassa não influenciou, significativamente, as concentrações encontradas. Os aerossóis provenientes de fontes marítimas e biogênicas (fungos, esporos, fragmento de folhas) foram os principais responsáveis pela presença dos ácidos orgânicos nas amostras de chuva desta região.

Como visto nos casos acima, a composição química da água de chuva difere geograficamente entre o litoral e o continente. A tabela 3 mostra a variação da composição nos ambientes continental e marinho.

Tabela 3 - Variação mínima e máxima em mg/L na composição química da água de chuva de origem continental e marinha.

Parâmetros	Continental (mg/L)	Marinha (mg/L)
NH ₄ ⁺	0,1 - 0,5	0,01 - 0,05
Na ⁺	0,2 - 1,0	1,0 - 5,0
K ⁺	0,1 - 0,5	0,2 - 0,6
Ca ²⁺	0,2 - 4,0	0,2 - 1,5
Mg ²⁺	0,05 - 0,5	0,4 - 1,5
Cl ⁻	0,2 - 2,0	1,0 - 10,0
SO ₄ ²⁻	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0
NO ₃ ⁻	0,4 - 1,3	0,1 - 0,5
pH	4,0 - 6,0	5,0 - 6,0

Fonte: Adaptado de Esteves (1998).

É possível observar que há maior abundância de Na⁺, Mg²⁺ e Cl⁻ nas chuvas oceânicas, enquanto NH₄⁺, Ca²⁺ e NO₃⁻ predominam nas continentais, isso se dá em consequência das emissões de aerossóis e gases por esses ambientes. Há influência marinha no continente, porém em menor escala que no litoral (ESTEVES, 1998).

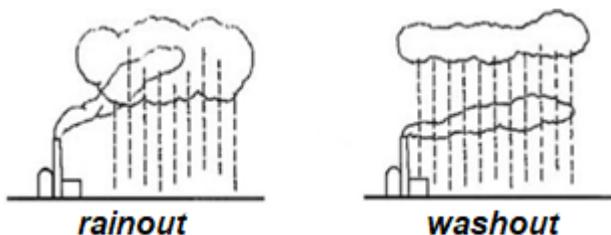
2.2.2 Processos de remoção de poluentes dentro (rainout) e abaixo da nuvem (washout)

A forma com que ocorre a remoção de alguns poluentes da atmosfera pode, também, interferir na composição da precipitação de cada região. Os mecanismos de remoção de poluente podem ser divididos em dois processos: *rainout* e *washout*. Estes processos de remoção (deposição úmida) podem ocorrer tanto dentro da nuvem (*rainout*) por gotículas de nuvem (condensação, nucleação e dissolução de gases) como abaixo da nuvem (*washout*), ambos ocorrem continuamente durante a precipitação. Tais processos podem proporcionar variações quanto à concentração de poluentes nas precipitações (ENGELMANN, 1971; SCHRODER *et al.*, 1989).

A remoção de poluentes por gases é governada pela capacidade de absorção por gotas de chuva e gotículas de nuvem, que consequentemente, dependem da composição química da atmosfera. A quantificação deste tipo de remoção nos fornece, com maior detalhamento, a contribuição de alguns poluentes, como SO₂ e HNO₃, na

atmosfera. A partir da figura 1 é possível ilustrar os mecanismos de remoção citados.

Figura 1 - Processos de remoção de poluentes da atmosfera.



Fonte: Aikawa *et al.*, (2014).

No processo de remoção de poluentes dentro da nuvem considera-se o processo de nucleação, que se refere à ativação seguida de crescimento de uma fração da população do aerossol para gotículas de nuvem. Segundo Silva (2006), a remoção *rainout* depende de alguns fatores como: o tipo e altura da nuvem, bem como a distribuição do diâmetro da gotícula no espectro da nuvem.

A remoção dos poluentes embaixo da nuvem (*washout*), tem sua eficiência vinculada à altura da base das nuvens. Os gases presentes na atmosfera irão agregar às gotas de chuva por meio de colisão inercial, e o grau de incorporação será determinado pela solubilidade da substância em água.

O aerossol na deposição úmida é removido mais rapidamente por processo de remoção no interior da nuvem, por nucleação, do que abaixo, por arraste (MARSH, 1978; KLEINMAN, 1984).

Poucos estudos têm avaliado os processos de remoção de poluentes que podem ocorrer dentro e abaixo da nuvem. Na cidade de São Paulo e alguns locais da região Norte, foram realizadas simulações da composição química de precipitação atmosférica de acordo com o processo de remoção de poluentes. No Brasil, Gonçalves *et al.*, (2000) foi um dos pioneiros na aplicação de modelos para identificar a diferença de concentração de poluentes atmosféricos na atmosfera, dentro das nuvens e abaixo das nuvens (a partir da chuva) e os resultados foram satisfatórios para os óxidos de nitrogênio e de enxofre, com destaque para a maior remoção dentro da nuvem (cerca de 89 a 99%) que tem esta eficiência

principalmente devido a nucleação das gotas, ou seja, formação das gotas de chuva.

Características semelhantes encontrou Migliavacca (2010), em seu estudo, na Região Metropolitana de Porto Alegre (Rio Grande do Sul). A pesquisadora constatou que quanto menor a remoção abaixo da nuvem (*washout*), menor a altura da base da nuvem em relação a superfície do solo. E revelou, ainda, que a contribuição na remoção pelo processo *washout* variou entre 10 e 30%.

Porém outros estudos, como o de Souza *et al.*, (2006), apontam que há uma relação inversa entre o total de íons dissolvidos e a quantidade de água precipitada, sugerindo que a maior parte dos íons presentes na água de chuva se incorpora a ela durante a precipitação (*washout*).

2.2.3 Ação da solubilidade sobre a composição química das águas de chuva

Quando se estuda elementos químicos com precipitação atmosférica, não se pode deixar de relacionar as concentrações dessas substâncias com a solubilidade em meio aquoso, estando associado aos valores de pH da precipitação. Elementos de origem antrópica, como Fe, Zn e Mn, são considerados mais solúveis na precipitação se comparados com aqueles provenientes de partículas do solo (GRAEDEL e WESCHLER, 1985).

Estima-se que a contribuição ácida do H_2SO_4 em amostras de precipitação atmosférica encontre-se na faixa de 60-70%, e entre 30-40% seja atribuído ao HNO_3 (AL-MOMANI *et al.*, 1995; TUNCER *et al.*, 2001). Porém, a contribuição de H_2SO_4 na acidez da precipitação tem diminuído significativamente em relação ao HNO_3 . Este fato pode estar diretamente relacionado ao rigoroso controle exercido sobre as fontes emissoras, bem como à redução gradativa dos teores de enxofre e dos derivados de petróleo.

Além do H_2SO_4 e HNO_3 , o potencial de acidificação na precipitação é, também, devido à presença de ácidos orgânicos (KAYA e TUNCEL, 1997). Estas espécies ácidas são neutralizadas pela presença de NH_3 (amônia) e $CaCO_3$ (carbonato de cálcio), sendo que o pH da precipitação depende da abundância relativa destes ácidos e bases e das reações de neutralização entre eles. Na tabela 4, são apresentados diversos

trabalhos que buscaram caracterizar a composição química da água de chuva quanto a concentrações de íons e pH.

Tabela 4 - Concentração média ponderada pelo volume da água de chuva ($\mu\text{eq L}^{-1}$) em diferentes locais no Brasil.

AUTORES	CAMPOS <i>et al.</i> , (1998)	LARA <i>et al.</i> , (2001)	MELLO (2001)	LEAL <i>et al.</i> , (2004)	CONCEIÇÃO e BONOTTO (2004)	MIGLIAVACCA <i>et al.</i> , (2005)	SOUZA <i>et al.</i> , (2006)	HOINASKI <i>et al.</i> (2013)
LOCAIS	Bahia	São Paulo	Rio de Janeiro	São Paulo	São Paulo	Rio G. do Sul	Rio de Janeiro	Fpolis.
pH	5,3	4,5	4,8	5,2	5,5	6,1	5,2	4,97
Cond. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	23,2	-	-	13,0	15,1	7,5	-	14,68
Ca²⁺	7,8	5,3	30,2	10,7	442,5	5,0	9,2	7,98
Na⁺	110,0	2,7	62,6	15,0	42,2	4,3	142,2	59,80
K⁺	4,5	2,9	11,1	2,6	6,7	1,8	7,1	3,14
Mg²⁺	18,9	2,3	19,5	5,0	65,8	2,1	40,4	9,00
H⁺	6,8	33,0	17,0	6,5	-	105,0	6,0	-
NH⁴⁺	7,4	17,1	18,8	37,6	-	7,6	9,9	-
SO₄²⁻	22,6	18,7	41,3	24,8	45,8	12,2	34,8	9,94
NO³⁻	6,1	16,6	15,8	21,2	72,6	7,0	12,0	15,18
Cl⁻	152,0	7,0	66,6	8,5	62,2	8,3	178,2	56,94
PO₄³⁻	-	-	-	-	11,0	-	-	-
F⁻	-	-	-	-	-	5,9	-	-
Alcalinidade	0,9	-	-	-	22,9	-	-	0,03
CH₃COO⁻	-	-	-	16,9	-	-	-	-
HCOO⁻	-	-	-	4,7	-	-	-	-

- não analisado

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo envolve dois pontos localizados no município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina.

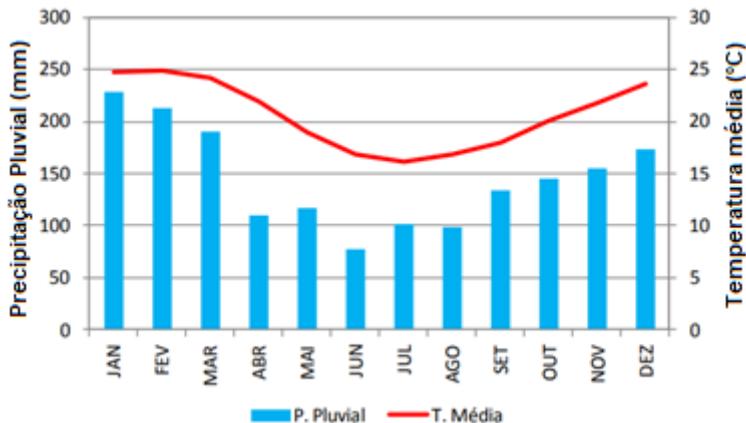
Localizado na região Sul do país, mais precisamente à leste do Estado de Santa Catarina, Florianópolis possui uma população de cerca de 485.838 habitantes (segundo último levantamento do IBGE – 2017) e frota veicular de 346.736 automóveis (DETRAN/SC, 2018). A capital catarinense dispõe de relevo altamente diversificado, que vai desde morros até manguezais, restingas e dunas. Em relação a hidrografia, a cidade é banhada pelo Oceano atlântico e apresenta na sua costa um traçado bastante característico, graças as mais de 100 praias que integram este cenário.

Florianópolis possui características climáticas típicas do litoral sul-brasileiro. O clima é classificado como mesotérmico úmido, ou seja, não tem estação seca e depende da Massa Polar Atlântica (inverno e outono) e da Massa Tropical Atlântica (verão e primavera) para as mudanças de estação e temperatura (GALVANI, 2006). As estações do ano possuem suas particularidades, com verão e inverno bem definidos, e primavera e outono com características similares entre si (MONTEIRO, 2001).

Para descrever os elementos meteorológicos, temperatura mínima, temperatura máxima, pressão atmosférica e precipitação pluvial, de Florianópolis foram utilizados dados dos últimos 40 anos (1970 – 2010) (MURARA, 2012).

No climograma médio mensal de Florianópolis (Figura 2), é possível observar um aumento dos totais pluviais a partir de setembro, com máximo no mês de janeiro. A partir de março, as chuvas diminuem em Florianópolis, com a identificação de um período com pluviosidade mais baixa nos meses de abril a agosto. Segundo Monteiro & Furtado (1995) esse período é ainda caracterizado por declínio nas temperaturas e na umidade relativa do ar, devido à trajetória mais continental das incursões polares. As temperaturas médias registram máximas em janeiro e fevereiro com diminuição nos meses de inverno e menores valores médios em julho. As precipitações pluviais registram média de 1.734 mm e, o mês de janeiro é identificado como o mais chuvoso, média de 229 mm. O mês de junho registra os menores totais pluviais com média de 76 mm.

Figura 2 - Climograma, período de 1970 a 2010, em Florianópolis - SC.



Fonte: Climograma disponibilizado pelo CIRAM (2018)

No Anexo A está contida a distribuição da temperatura máxima mensal nos últimos 40 anos. Em sua dinâmica temporal, os maiores valores de temperatura ocorrem entre os meses de novembro a abril, período de maior intensidade do calor, já que a entrada das massas polares, no continente sul-americano ocorre em latitudes mais elevadas, dificilmente ultrapassando os 35°S (FONZAR, 1994). Neste período as massas polares se tornam mais enfraquecidas e mais distantes do sul do Brasil, dando lugar à atuação das massas tropicais. O continente se torna mais aquecido (MURARA, 2012).

Segundo Murara (2012), as temperaturas mínimas declinam a partir do mês de maio (Anexo B), quando da entrada das primeiras incursões polares de forte intensidade no sul do país. Os meses de junho, julho e agosto são caracterizados pelos valores extremos de temperaturas mínimas. As condições de tempo deste período são influenciadas por sucessivas atuações das massas de ar polar provenientes do continente antártico que adquirem uma trajetória mais continental em relação ao verão. O ar frio é trazido pela aproximação e atuação dos anticiclones que se deslocam sobre a Argentina até o sul do Brasil. Ao se instalar sobre Florianópolis, esses sistemas ocasionam tempo estável, com predomínio de céu aberto e acentuado declínio de temperatura, características das massas de ar polares, secas e frias.

Em decorrência do maior aquecimento do continente na estação de verão, os valores de pressão atmosférica tornam-se em média mais baixos

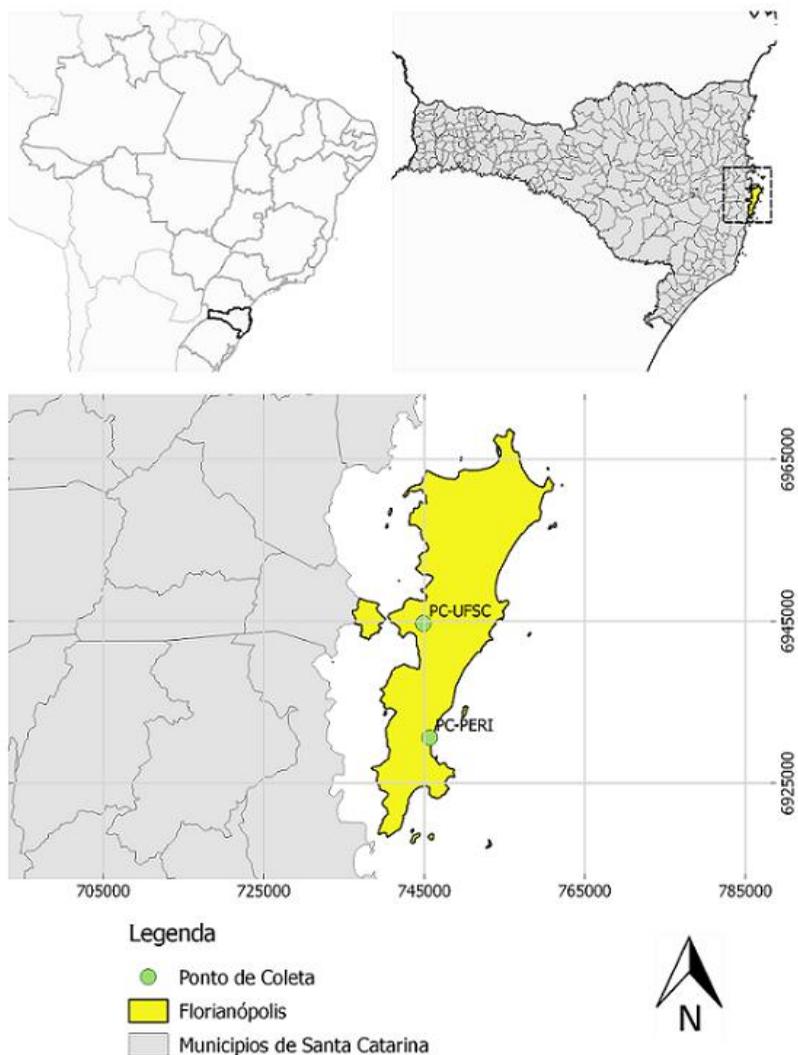
nesta época do ano (Anexo C), contrastando com o período de inverno, quando da atuação predominante das massas de ar de alta pressão (atuação da massa polar) e consequentemente aumento médio das pressões atmosféricas.

A partir de informações retiradas do estudo de Silveira *et al.* (2013), onde caracterizam a direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina entre 1996 e 2012, Florianópolis apresenta o vento norte como predominante e o vento sul como de segundo de maior ocorrência ao longo dos meses. Apesar destas direções serem as mais atuantes no município, o regime de ventos com predominância secundária apresenta característica bastante diversificada, com alternâncias de direções expressivas (SILVEIRA, 2013).

No Anexo D, é possível observar as normais climatológicas da capital catarinense para os anos de 1981 a 2010. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas”.

Foi elaborado um mapa de localização (Figura 3), para que seja possível identificar o estado de Santa Catarina, bem como a ilha de Florianópolis e os pontos de coleta.

Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de coleta (PC) de água de chuva no campus da UFSC no bairro Trindade e no Peri no bairro Armação, ambos situados no município de Florianópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o intuito de comparar as influências da urbanização na formação de chuva ácida, foram selecionados dois pontos dentro do município de Florianópolis, que apresentam perfis distintos. O primeiro ponto de estudo está localizado na porção central de Florianópolis, no bairro Trindade ($27^{\circ}35'57.87''\text{S}$ $48^{\circ}31'9.39''\text{O}$). O local é conhecido por receber grandes quantidades de pessoas todos os anos e por possuir um fluxo intenso de veículos leves (carros) e pesados (ônibus), e isso se deve ao fato de estar situado em seu território a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que contribuiu profundamente para urbanização da região (FABIANO, 2012). De acordo com o Censo 2010, realizado pelo IBGE, há cerca de 18.812 habitantes na Trindade, o que faz do bairro o segundo mais populoso da cidade.

O coletor pluviométrico foi instalado na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Catarina, ao lado da Biblioteca Central, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Localização do coletor pluviométrico instalado no *campus* da UFSC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo coletor (conforme ilustrado na Figura 5) foi instalado no Parque Municipal da Lagoa do Peri ($27^{\circ}43'35.45''\text{S}$ $48^{\circ}30'29.95''\text{O}$), no bairro Armação (população de 2.837 habitantes, segundo dados do Censo 2010). Por se tratar de uma Reserva de Proteção Ambiental e ser afastada do centro da cidade, este ponto de coleta não é intensamente afetada por fontes antropogênicas, locais, de emissão de poluentes atmosféricos. O Parque possui uma superfície aproximada de 20,3 km²,

espelho d'água com área de 5,1 km² (POLI *et al.*; 1978, p. 3; LAPOLLI *et al.*; 1990, p. 5). O local é caracterizado por ser um dos mais importantes ecossistemas em fase de preservação e regeneração da Mata Atlântica original (IPUF, 1978; SANTOS *et al.*; 1989; LAPOLLI *et al.*; 1990; PEREIRA, 2001; CECCA, 1997), contendo espécies vegetais e animais raramente encontradas em outros ambientes de preservação (AGUDO, 2007).

A proximidade do local de coleta da água chuva com o mar (aproximadamente 150 metros), pode influenciar no pH das amostras coletadas no bairro da Armação, graças ao spray salino e emissões gasosas provenientes do oceano (MARTINS, 2008).

Figura 5 - Localização do coletor pluviométrico instalado no Peri.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 METODOLOGIA EMPREGADA NA COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

O sistema de coleta de água de chuva consiste em um coletor volumétrico artesanal. O coletor de água de chuva é formado por um recipiente de galão PET (20 litros) de polipropileno em forma de funil com 21,6 cm de diâmetro. O recipiente é apoiado sobre base de madeira, ficando a 1,5 metros do solo, para, assim, reduzir a deposição de partículas ressuspensas do solo (CASTRO e TARIFFA, 1999). As áreas adjacentes aos pontos de coleta são abertas, ou seja, sem a presença de obstáculos que pudessem influenciar na coleta da chuva e no regime de ventos.

Foi utilizado uma mangueira de silicone, inerte, para conectar o funil ao galão PET (5 litros), responsável pelo armazenamento da amostra, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.

A metodologia é semelhante ao proposto por Mirlean *et al.* (2000), porém contendo apenas um recipiente coletor. O procedimento de limpeza dos coletores volumétricos e dos frascos foi realizado em cada evento de chuva. Efetuou-se a higienização dos coletores volumétricos e frascos com água comum (torneira) e água deionizada (obtida no Laboratório Integrado de Meio Ambiente – LIMA), através de várias lavagens (5 vezes). Foi utilizado o website <https://www.windguru.cz/105160> para auxiliar na previsão das condições climáticas. Assim, foi possível antever as precipitações e promover a limpeza dos equipamentos.

O período de amostragem foi de outubro de 2017 a março de 2018. A metodologia empregada para coleta das amostras, neste período, iniciou com medidas de pH logo após cada evento chuvoso. As frações foram coletadas em cada ponto de análise e encaminhadas para a sala de manipulação do LCQAr. Neste local, as amostras foram submetidas a temperatura, em torno, de 24°C para padronização e subsequente análise com o pHmetro da marca Digimed e modelo DM-23, mostrado na Figura 6

Figura 6 - pHmetro modelo DM-23, utilizado na análise química.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Determinou-se o volume da precipitação com o auxílio de uma proveta graduada de 500 ml. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno com etiquetas de identificação e posteriormente armazenadas na geladeira do próprio laboratório, a temperatura de aproximadamente 4°C.

3.3 COLETA E MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO (MP₁₀)

Os dados utilizados referentes as concentrações de Material Particulado, foram obtidos através do projeto de pesquisa iniciada em 2012 no LCQAr – UFSC.

As amostragens de MP₁₀ são conduzidas utilizando um Amostrador de Grande Volume (Energética, Hi-Vol) com seleção para Material Particulado inalável (AGV-MP₁₀), como pode ser observado na Figura 7. Diversos estudos foram elaborados a partir da metodologia

empregada no monitoramento do Material Particulado no *campus* da UFSC, como os de Barros (2014) e Scapini (2016).

Figura 7 - Amostrador de Grande Volume (AGV-MP₁₀) situado na estação meteorológica do *campus* da UFSC.



Fonte: Scapini, 2016.

Diante do fato de algumas datas de coleta de Material Particulado e coleta de água de chuva não coincidirem, adotou-se a concentração de MP₁₀ do dia mais próximo de quando houve coleta de água de chuva. Na Tabela 5, é possível verificar a correspondência entre dias de coleta de água de chuva e Material Particulado.

Tabela 5 - Dias coletas de água de chuva x dias coleta de material particulado

Coleta da água de chuva	Coleta de material particulado	Coleta da água de chuva	Coleta de material particulado
02/10/2017	21/10/2017	17/01/2017	16/01/2018
07/10/2017	21/10/2017	21/02/2017	21/02/2018
08/11/2017	07/11/2017	25/02/2017	23/02/2018
12/11/2017	10/11/2017	27/02/2017	23/02/2018
19/11/2017	20/11/2017	28/02/2017	23/02/2018
29/11/2017	05/12/2017	01/03/2017	23/02/2018
04/12/2017	05/12/2017	04/03/2017	13/03/2018
07/12/2017	08/12/2017	12/03/2017	13/03/2018
11/12/2017	10/12/2017	14/03/2017	13/03/2018
18/12/2017	20/12/2017	20/03/2017	21/03/2018
19/12/2017	20/12/2017	21/03/2017	21/03/2018
20/12/2017	20/12/2017	26/03/2017	24/03/2018
16/01/2018	16/01/2018	28/03/2017	29/03/2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliar a concentração de Material Particulado, bem como compostos químicos e gases nas precipitações atmosféricas, foi necessário analisar a influência de parâmetros meteorológicos sobre as águas de chuva.

3.4 ANÁLISE DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

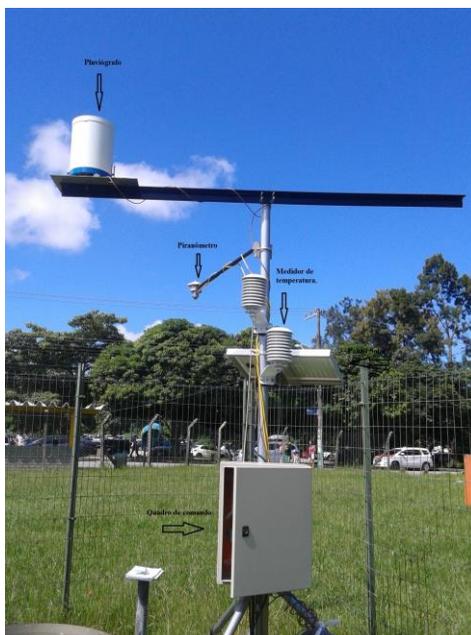
Para realizar a análise da influência de parâmetros meteorológicos sobre a formação de chuva ácida utilizou-se dados obtidos no site <https://www.cptec.inpe.br/>, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). A Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática consultada localiza-se em São José (Grande Florianópolis) e as variáveis analisadas foram a temperatura ambiente no dia da coleta de água de chuva, pressão atmosférica, direções do vento e altura da base das nuvens.

A fim de avaliar o comportamento da deposição úmida na limpeza da atmosfera utilizou-se o parâmetro meteorológico altura da base das nuvens. A remoção dos poluentes atmosféricos ocorre através de dois processos: *rainout* e *washout*. Logo, quantificar a atuação destes processos auxilia a compreender a formação de chuva ácida.

Para determinar a duração das precipitações atmosféricas consultou-se o site <http://www.labhidro.ufsc.br/>. O Laboratório de

Hidrologia (LabHidro) da UFSC monitora as precipitações pluviométricas a partir de um pluviógrafo instalado na estação meteorológica do *campus* da UFSC (Figura 8), com resolução temporal de 5 minutos.

Figura 8 - Pluviógrafo instalado na estação meteorológica do *campus* da UFSC.



Fonte: LabHidro.

Ainda com o auxílio do pluviógrafo, foram avaliados o número de dias secos durante a amostragem. A partir destes dados analisou-se dois cenários: dias secos consecutivos e dias secos em uma semana. O primeiro cenário busca analisar a influência dos dias consecutivos secos sobre o pH das precipitações atmosféricas, ou seja, foi realizado um levantamento de quantos dias secos precederam um evento chuvoso. O segundo cenário explorado foi quanto ao número de dias secos, em uma semana, que antecederam um evento chuvoso. Isto é, a cada precipitação registrada efetuou-se um levantamento de quantos dias secos houveram no período de sete dias anteriores ao evento de precipitação. A partir da catalogação dos dados, utilizou-se a relação n° de dias secos/ n° total de

dias, para o obter a porcentagem de Dias secos em uma semana antes da chuva.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

A análise estatística dos dados coletados foi feita com o uso do software Spyder, que é uma AID (Ambiente Integral de Desenvolvimento) da linguagem de programação Python.

Na análise de dados foram aplicadas tanto Estatísticas Univariadas quanto Estatísticas Bivariadas. A primeira permite que a análise de cada variável seja feita separadamente, de forma independente, como é no caso dos testes de hipóteses realizados no desenvolvimento deste trabalho. Foram empregados os testes de Mann-Whitney (U-test) e Ansari-Bradley para comparar as medianas das amostras e para verificar a dispersão dos dados, respectivamente.

Já a Estatística Bivariada inclui métodos de análise de duas variáveis, podendo ser ou não estabelecida uma relação de causa/efeito entre elas. Nesse sentido, foi empregado o coeficiente de Spearman para avaliar a correlação entre: os valores de pH nos diferentes pontos de coleta, pH e parâmetros meteorológicos (temperatura, pressão atmosférica, altura da base das nuvens, direção do vento, altura pluviométrica), pH e dias da semana e entre pH e Material Particulado (MP₁₀). Para determinar o intervalo de confiança (IC) dos parâmetros utilizou-se o método de reamostragem Jackknife.

Foi atribuído um nível de significância (α) de 5%, e adotado testes de hipóteses não-paramétricos, pois o estudo conta com pequeno tamanho amostral. No Apêndice B, estão apresentados os dados estatísticos obtidos durante o estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No período de outubro de 2017 a março de 2018, foram coletadas 50 amostras de águas de chuva no município de Florianópolis, sendo 29 na estação meteorológica do *campus* da UFSC e 21 no Parque Municipal da Lagoa do Peri. Neste período, analisaram-se medidas de pH e volume da precipitação, sendo a frequência de amostragem ao longo da pesquisa por evento chuvoso. Vale ressaltar que, neste projeto foi dado destaque especial ao *campus* da Universidade, pela maior facilidade na coleta das amostras e realização das análises. Além de envolver uma logística mais complexa de deslocamento, no Peri obteve-se um menor número de amostras coletadas devido à problemas com o equipamento de coleta. O coletor da região foi furtado no dia 16/01/2018, e somente no dia 26/01/2018 foi possível realizar a instalação de um novo. Desta forma, o número final de amostras foi diretamente afetado.

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO pH DAS ÁGUAS DE CHUVA EM FLORIANÓPOLIS

Como citado anteriormente, a chuva é considerada ácida quando apresenta pH inferior a 5,65. Entretanto, Seinfeld e Pandis (1998), atribuíram um valor de pH igual a 5,00, como limite inferior para águas de chuva acidificadas por substâncias de origem natural, e abaixo deste valor como contribuição de origem antrópica.

As medianas, IC, mínimos e máximos valores pH das amostras de água de chuva coletadas em cada evento chuvoso no *campus* da UFSC e Peri estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores das medianas dos parâmetros, intervalos de confiança (IC 95%) da mediana, mínimos e máximos para cada ponto de coleta.

Parâmetros	Peri		UFSC	
	pH	Volume (mm)	pH	Volume (mm)
Mediana	5,44	17,5	5,53	18,3
IC	5,18	12,8	5,32	12,4
	5,69	22,1	5,73	24,1
Mínimo	4,95	4,2	4,28	4,1
Máximo	7,15	43,3	6,93	70,4
Nº de amostras	21		29	

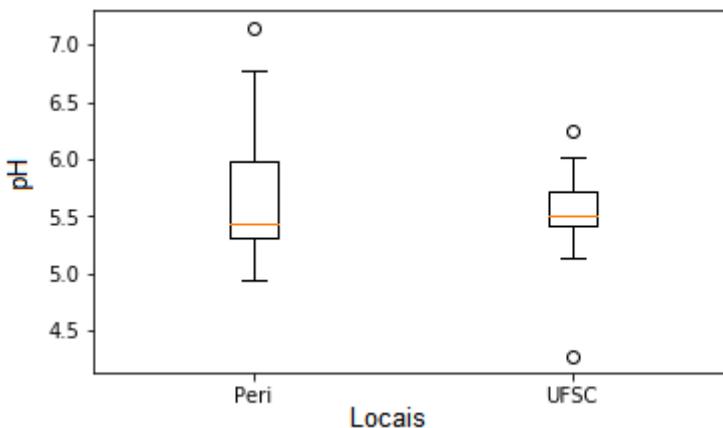
Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que os valores de pH das amostras de água de chuva coletadas, no campus da UFSC e Peri, apresentam considerável semelhança, quando analisadas a mediana e intervalo de confiança. As medidas de pH variaram entre os intervalos de 4,28 a 6,93 no *campus*, e 4,95 e 7,15 no Peri. Estes valores apontam que existe predominância de chuvas levemente ácidas em ambas localidades.

Ainda que uma das amostras do *campus* da UFSC tenha apresentado o menor valor de pH durante o período de coleta, as localidades apresentaram grande semelhança entre os valores do pH das precipitações. Realizando o teste de Mann-Whitney (U-test) para avaliar a diferença entre as medianas do parâmetro em questão, constatou-se que a hipótese de existir diferença entre os dados não pode ser desconsiderada ($p = 0,3434$).

Apesar de possuírem fontes locais de emissão distintas, por estarem situados na mesma cidade e distantes cerca de apenas 14 km, leva-se a crer que ambas regiões estão expostas a mesma fonte poluidora. No *boxplot* (Figura 9), é possível verificar a variância das amostras nos pontos de análise. Apesar de apresentarem o valor médio do pH semelhantes, é observada uma diferença quanto ao comportamento da acidez nas precipitações das regiões. Enquanto no *campus* da UFSC o pH das águas de chuva está mais concentrado na faixa entre 5,0 e 6,0, no Peri nota-se que há maior variação nos dados de pH.

Figura 9 - *Boxplot* das distribuições do pH das amostras do Peri e *campus* UFSC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O objetivo ao utilizar o *boxplot* é de verificar a distribuição dos dados. O centro da distribuição é indicado pela linha da mediana, no centro do quadrado. A dispersão é representada pela amplitude do gráfico, que pode ser calculada como máximo valor – mínimo valor. Quanto maior for a amplitude, maior a variação nos dados. O retângulo contém 50% dos valores do conjunto de dados. A posição da linha mediana no retângulo informa sobre a assimetria da distribuição. Uma distribuição simétrica teria a mediana no centro do retângulo. Os outliers presentes no *boxplot* indicam valores discrepantes de pH, dentro das amostras coletadas.

Ao aplicar o teste de Ansari-Bradley verificou-se que não é possível rejeitar a hipótese de igualdade entre as variabilidades dos pH nos locais estudados (p -valor = 0,2616). Como pode ser visto na Figura 9, existe uma maior variabilidade nos dados do Peri, em relação aos dados do *campus* da UFSC. A insignificância estatística dos dados, devido ao pequeno número de amostras, não nos permite tirar maiores conclusões.

Na Tabela 7 são apresentados os valores da mediana, mínimo e máximo do pH, bem como o número de amostras para os meses do período de coleta.

Tabela 7 - Relação entre períodos de coleta das amostras e valores das medianas, mínimos e máximos pH, além do número de amostras coletadas (n) para o município de Florianópolis (Peri / UFSC).

Meses	Mediana (Peri / UFSC)	Mínima (Peri / UFSC)	Máxima (Peri / UFSC)	n (Peri / UFSC)
out/nov/dez 2017	5,40 / 5,53	4,95 / 5,14	6,35 / 6,24	12 / 15
jan/fev/mar 2018	5,67 / 5,61	5,25 / 4,28	7,15 / 6,93	9 / 14

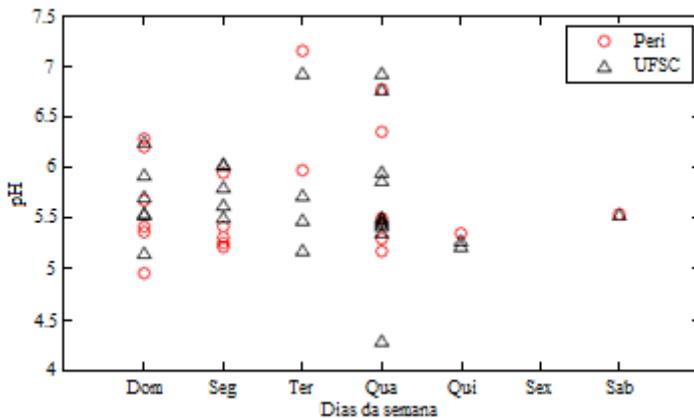
** Não foram coletadas amostras no Peri em janeiro de 2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da análise da tabela 7, nota-se que as medianas mensais dos valores de pH, no Peri e *campus* da UFSC, apresentam grande semelhanças. Os mínimos valores de pH nos locais também são bastante similares.

Estas informações fornecem mais um indicativo de que as áreas de estudo têm a acidificação das águas de chuva influenciadas por uma mesma fonte. Com o intuito de atestar esta hipótese, decidiu-se avaliar o comportamento dos pH das regiões durante os dias da semana, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 - Correlação entre o pH e dias da semana.



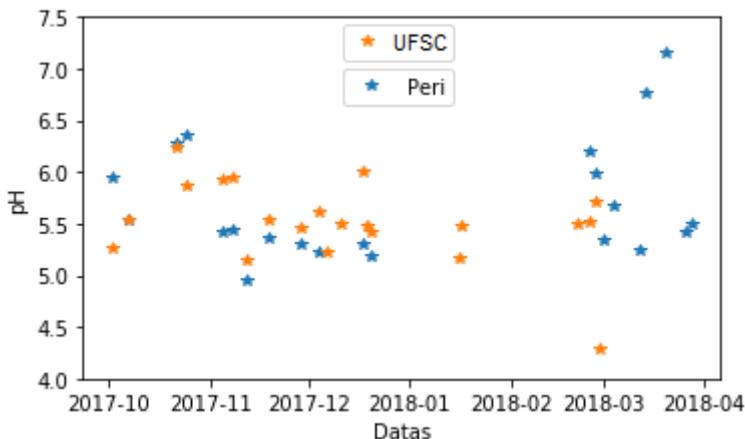
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das informações fornecidas pela Figura 10, é possível observar que os dados de pH seguem um padrão de distribuição. Apesar de contar com um número menor de amostras na região do Peri em relação ao campus da UFSC, percebe-se que em ambos locais os pH variam de forma semelhante, ao longo dos dias da semana. O aumento do pH na região do *campus* UFSC, reflete em um aumento no pH na região do Peri.

Apesar de não ser possível afirmar que os pH possuem, de fato, um padrão incontestável de variação entre si, esta é mais uma evidência de que os locais possuem uma mesma fonte de poluição atmosférica.

Na Figura 11 é possível observar a série temporal do pH das águas de chuva nos locais de estudo.

Figura 11 - Variação dos pH da água de chuva no período de outubro de 2017 a abril de 2018.



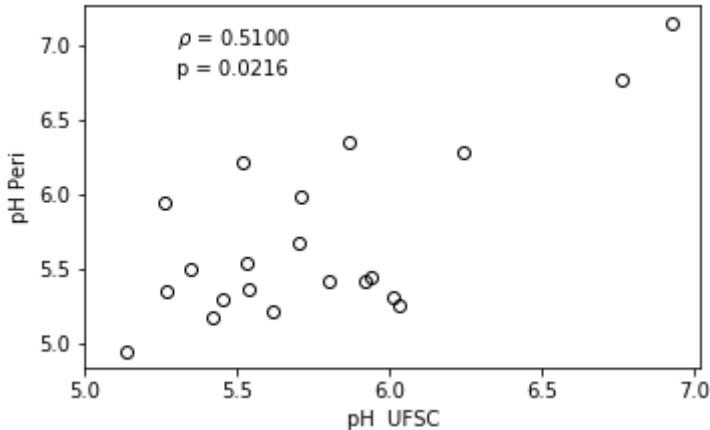
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do gráfico podemos verificar, mais uma vez, a similaridade existente entre a acidez das precipitações nas regiões estudadas.

A Figura 12 apresenta o gráfico do pH da chuva na UFSC e no Peri. O teste de correlação de Spearman foi aplicado para verificar a correlação entre estas variáveis. Os valores de pH dos locais possuem correlação significativa ($\rho = 0,5100$; $p\text{-valor} = 0,0216$). O resultado fortalece a hipótese de que ambos locais têm a acidez da atmosfera influenciada pela mesma fonte poluidora.

Portanto, com base na suposição apontada, é possível que variáveis meteorológicas sejam mais relevantes na descrição da variabilidade da qualidade da água da chuva do que fontes locais de poluição atmosférica no município de Florianópolis. Sendo assim, utilizou-se parâmetros meteorológicos para buscar elucidar de que forma uma fonte de poluição atmosférica regional pode atuar em dois locais de características urbanísticas distintas.

Figura 12 - Correlação entre o pH no *campus* da UFSC e do Peri.



Fonte: Elaborado pelo autor.

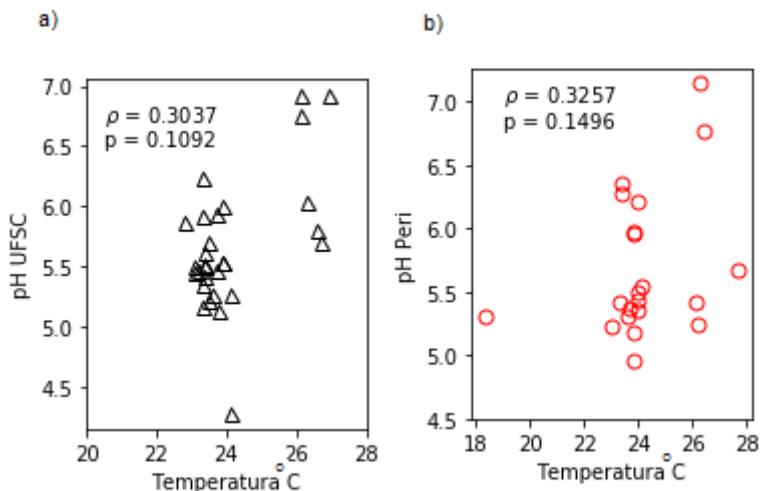
4.2 INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS NO pH DAS ÁGUAS DE CHUVA

4.2.1 Temperatura

A principal influência da temperatura ambiente no dia da coleta sobre o pH das águas de chuva é em relação a solubilidade dos gases. A temperatura possui íntima relação com o grau de agitação molecular, isto é, a elevação da temperatura provoca grande agitação das moléculas. Quando o líquido está quente, todas suas moléculas, inclusive as dos gases dissolvidos, estão mais agitadas, assim fica mais fácil elas escaparem do líquido e, conseqüentemente, mais difícil dissolver um gás dentro dele (RENDELUCCI, 2005).

Realizou-se a correlação entre pH e temperatura (Figura 13), com o propósito de identificar a influência deste parâmetro na composição química das águas de chuva.

Figura 13 - Correlação entre pH e temperatura no *campus* da UFSC (a) e Peri (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar que o pH e a temperatura não possuem correlação estatisticamente significativa no *campus* da UFSC ($\rho = 0,3037$; p-valor = 0,1092), nem no Peri ($\rho = 0,3257$; p-valor = 0,1496).

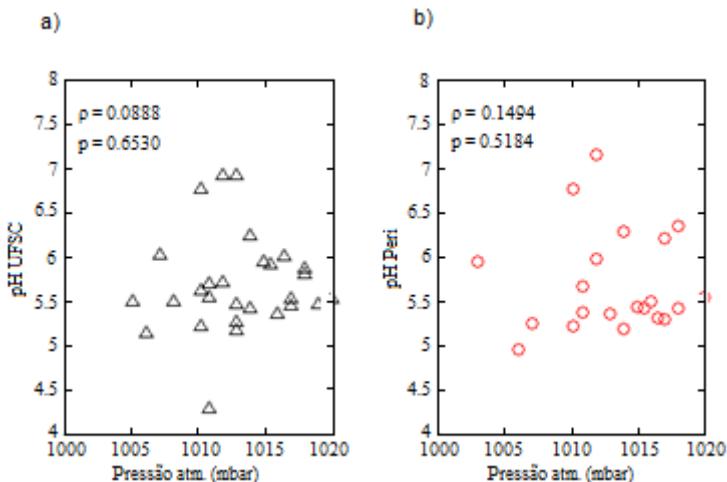
4.2.2 Pressão atmosférica

A relação entre a pressão atmosférica e a precipitação (chuvas) ocorre da seguinte forma: em ambientes com baixa pressão atmosférica e, portanto, calor, o ar aquecido tende a subir e, ao alcançar altitudes maiores, condensa-se, forma nuvens e precipita-se. Já em ambientes com maior pressão, o ar frio que se encontra no alto desce e impede a formação de nuvens pela elevação da umidade, proporcionando um ambiente sem chuvas (FERREIRA, 2005).

Apesar de não encontrar estudos, durante a revisão bibliográfica, que relacione diretamente o pH das águas de chuva com a pressão atmosférica, sabe-se que este parâmetro, além de agir sobre outras variáveis meteorológicas, está intimamente ligado a solubilidade dos gases, assim como a temperatura.

Na Figura 14 buscou-se observar a correlação entre o pH das amostras e a pressão atmosférica.

Figura 14 - Correlação entre pH e pressão atmosférica no *campus* da UFSC (a) e Peri (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Scharlin (1998), pela lei de Henry, ao aumentarmos a pressão exercida sobre uma molécula gasosa, aumenta-se a solubilidade desta em meio aquoso. Porém, os gases que reagem quimicamente com a água na formação da chuva ácida, como H_2S e NH_3 não seguem a Lei de Henry. Isto reforça a dificuldade que existe em relacionar os parâmetros, pH e pressão atmosférica.

A partir do teste de correlação de Spearman, não há correlação estatisticamente significativa entre os parâmetros (Peri: $\rho = 0,1494$; $p = 0,5184$ / UFSC: $\rho = 0,0888$; $p = 0,6530$). Logo, é necessária uma análise mais detalhada da composição química das águas de chuva para determinar as concentrações de cada substância existentes na amostra.

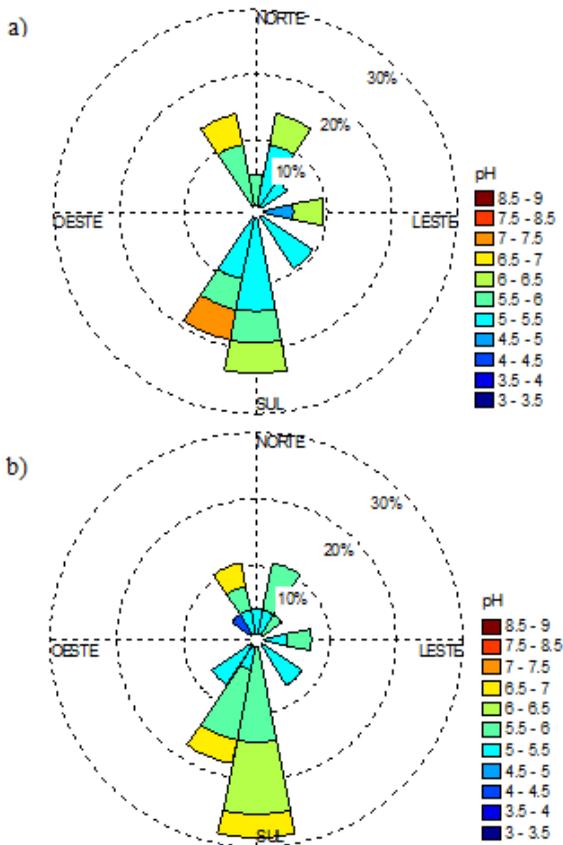
Até este momento, não foi possível obter conclusões significativas acerca da influência dos parâmetros meteorológicos na caracterização de uma fonte regional de poluição atmosférica, decidiu-se investigar o regime de ventos durante o período de amostragem das águas de chuva.

4.2.3 Direção do vento

Os ventos são influenciados por efeitos locais como orografia e rugosidade do solo entre outros obstáculos (vegetação e edificações), tornando a direção e velocidade do vento, variáveis no tempo e no espaço (VENDRAMINI, 1986). Segundo Monteiro (2007), os sistemas atmosféricos que atuam no sul do Brasil possuem uma dinâmica distinta e sazonal, estes acabam refletindo no comportamento do vento.

Com o intuito de verificar a influência da direção dos ventos na composição do pH das águas de chuva, elaborou-se a rosa das precipitações ácidas (Figura 15).

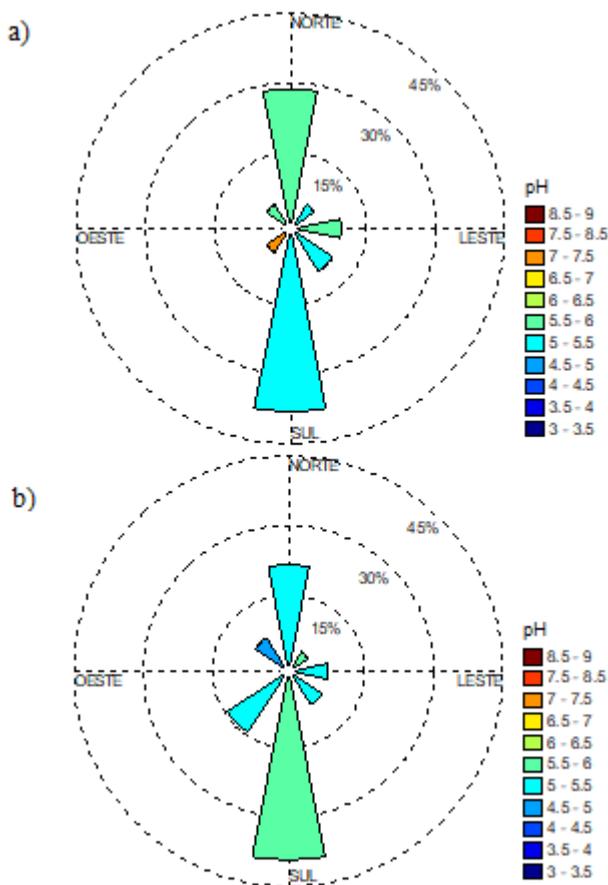
Figura 15 - Rosa dos pH das águas de chuva para o período de Outubro/2017 a março/2008, nos pontos de coleta Peri (a) e UFSC (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao realizar a análise da rosa dos pH surgiu a dificuldade de observar um padrão dos ventos na influência da acidez das precipitações. Tanto na região do Peri, quanto no *campus* da UFSC, as direções dos ventos responsáveis pelos menores valores de pH distribuem-se de forma semelhante em todas as direções do vento. Logo, surge a dificuldade em distinguir a orientação que gera maior interferência na acidez das águas de chuva. Com o propósito de refinar análise da influência do regime de ventos sobre as precipitações ácidas, avaliou-se o comportamento das medianas dos valores de pH em relação a direção dos ventos, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Rosa da mediana dos pH das águas de chuva para o período de Outubro/2017 a março/2008, nos pontos de coleta Peri (a) e UFSC (b).

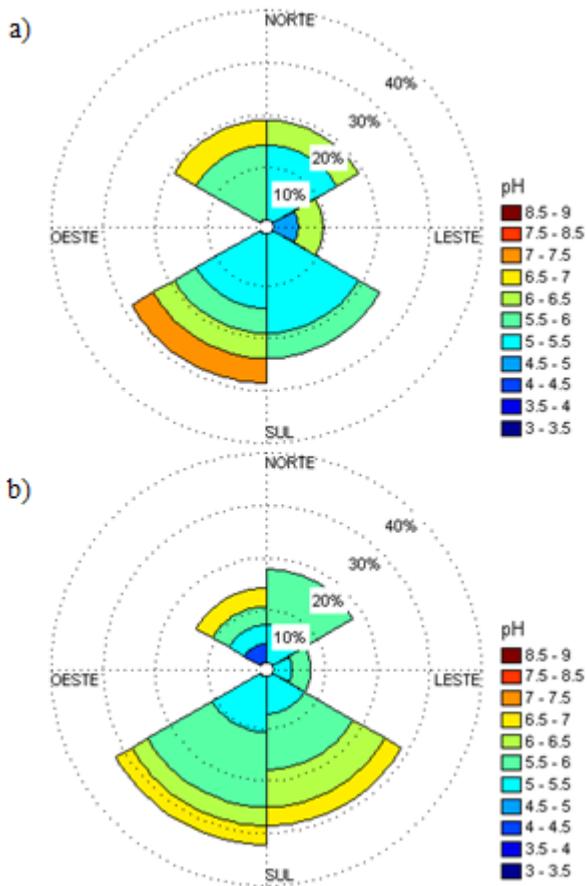


Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado, na região do Peri os menores valores de pH estão localizados ao sul e sudoeste, onde se encontram o bairro do Pântano do Sul e a praia da Armação, respectivamente. Já na região do *campus* da UFSC, o vento norte gera os menores valores de pH. Entretanto, a pequena diferença de acidez (5 - 6) que existe entre as direções do vento e o reduzido número de amostras, prejudica a compreensão do fenômeno.

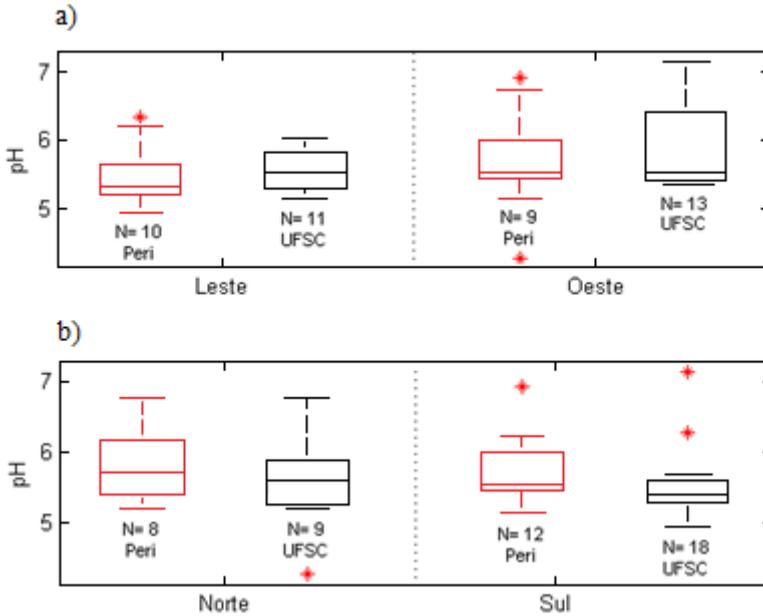
Como não foi encontrada uma relação marcante entre direção do vento e pH, decidiu-se decompor as direções dos ventos nas componentes Zonal (Leste/Oeste) e Meridional (Norte/Sul), com o intuito de avaliar as influências marinhas e terrestres sobre a acidez das águas de chuva. Para auxiliar nesta análise foi, também, elaborado um gráfico *boxplot* das componentes. Nas Figuras 17 e 18, é possível observar a rosa dos pH supracitada e o gráfico, respectivamente.

Figura 17 - Rosa da mediana dos pH das águas de chuva para o período de Outubro/2017 a março/2018, nos pontos de coleta Peri (a) e UFSC (b), sobre a influência das componentes, Zonal e Meridional, do vento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Análise das distribuições do pH das águas de chuva a partir das componentes Zonal (a) e Meridional (b). “N” representa o número de amostras.



Fonte: Elaborado pelo autor

É interessante observar que a média dos pH tanto da componente Meridional, quanto Zonal apresentaram valores similares nos locais de estudo. Porém, o que chama mais atenção é quanto a variabilidade dos dados de acidez das águas de chuva em relação a direção do vento. Sabe-se que a leste dos locais de estudo encontra-se o Oceano Atlântico (distante apenas 150 metros do ponto de coleta do Peri), que influencia na acidez do pH a partir do “spray marinho”. Já a oeste encontra-se a porção Continental, onde compreende inúmeras fontes de Material Particulado, como a ressuspensão do solo e as emissões veiculares.

A partir da componente Zonal é possível observar uma maior oscilação do pH na direção oeste, tanto no Peri, quanto no *campus* da UFSC, provavelmente influenciado por material particulado com características alcalinas, resultado de fontes existentes no Continente. Supõe-se que pelo fato de os materiais particulados presentes no spray marinho não apresentarem teor alcalino relevante, não houveram grandes

alterações no pH, assim como aponta Hoinaski *et al.*, (2013) em seu estudo.

Já ao analisar a componente Meridional, é possível observar um comportamento semelhante. A direção norte apresentou maior variabilidade dos pH e menor acidez. Acredita-se que este comportamento tenha sido ocasionado, também, pela influência de Material Particulado. A região norte de Florianópolis conta com um maior contingente populacional, além de ser uma área mais urbanizada. Logo, os ventos oriundos desta região estão mais carregados pelo aerossol resultante de emissões continentais, o que causa a variação no pH das águas de chuva.

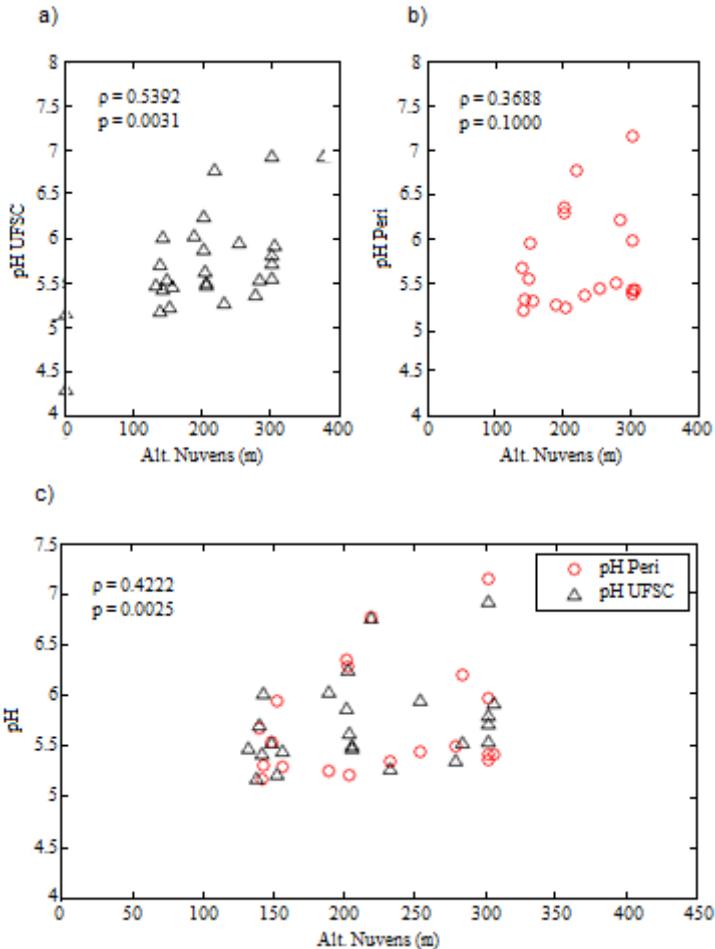
Desta forma, a variável meteorológica, direção do evento, é capaz de fornecer importantes indícios de como a origem do Material Particulado pode influenciar sobre o pH das águas de chuva. Entretanto, a análise ainda necessita de um maior número de amostras para confirmar esta hipótese.

Com intuito de prosseguir na análise da prevalência de variáveis meteorológicas em detrimento de fontes locais de poluição atmosférica na formação de chuva ácida, buscou-se avaliar o parâmetro altura da base das nuvens.

4.2.4 Altura da base das nuvens

Como visto na revisão bibliográfica a altura da base das nuvens é uma variável que influencia diretamente sobre a eficiência na remoção de poluentes da atmosfera, atuando, assim, sobre o resultado do pH das águas de chuva. Baseado na importância deste parâmetro, verificou-se a correlação entre a altura da base das nuvens e o pH, como observado na Figura 19.

Figura 19 - Correlação entre altura da base das nuvens e pH das precipitações atmosféricas no *campus* da UFSC (a), no Peri (b) e na concatenação dos dados das regiões estudadas (c).



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da Figura 19, é possível constatar que a influência da altura da base das nuvens sobre o pH das águas de chuva do Peri não apresentou correlação estatisticamente significativa ($\rho = 0,3688$; $p = 0,1000$), mediante teste de Correlação de Spearman. Por outro lado, aplicando o mesmo teste, obteve-se uma correlação relativamente alta ($\rho = 0,5392$; p

=0,0031) para os mesmos parâmetros, porém na região do *campus* da UFSC. A significância estatística identificada no *campus* pode estar atrelada ao fato de que a estação meteorológica também está instalada na UFSC. Ao reunir os dados de pH das regiões de estudo e correlacionar com a altura da base das nuvens, o teste, também, apresentou significância estatística ($\rho = 0,4222$; $p = 0,0025$). Nota-se, que se trata de uma correlação positiva, já que, ao aumentar a altura da base das nuvens tem-se o aumento do pH das águas de chuva.

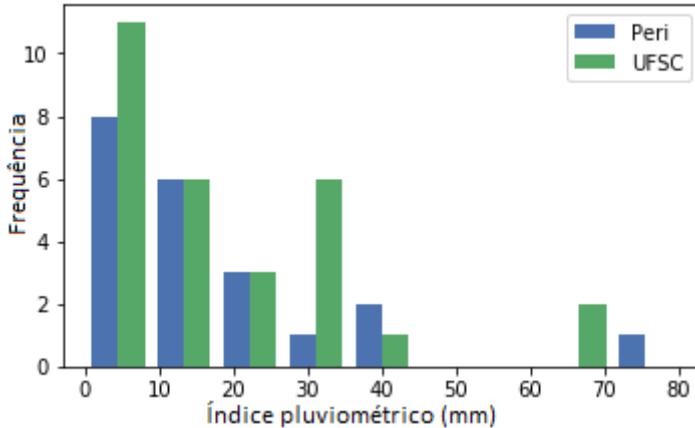
Como exposto nos trabalhos de Migliavacca (2009) e Gonçalves *et al.* (2000), a remoção de poluentes, como SO_2 , acontece principalmente pelo processo dentro da nuvem (*rainout*). Esta informação parece se aplicar ao presente estudo, já que a elevação na base das nuvens implica em uma elevação do pH. Ou seja, a elevação das nuvens acarreta em uma maior atuação do processo *washout*, que é menos eficiente na remoção de poluentes, como o dióxido de enxofre.

Conforme apontado anteriormente, a escassez de trabalhos científicos e a complexidade dos processos que ocorrem nas nuvens tornam as hipóteses apresentadas, de fato, discutíveis.

4.2.5 Volume das chuvas

As amostragens realizadas no presente estudo foram coletadas de outubro de 2017 a março de 2018, logo a estação climática predominante durante a pesquisa foi o verão. De acordo com o gráfico da Figura 20, as precipitações predominantes, em ambas regiões, em cada evento chuvoso foram entre 1 e 20 milímetros (mm).

Figura 20 - Histograma das precipitações atmosféricas nos pontos de coleta.

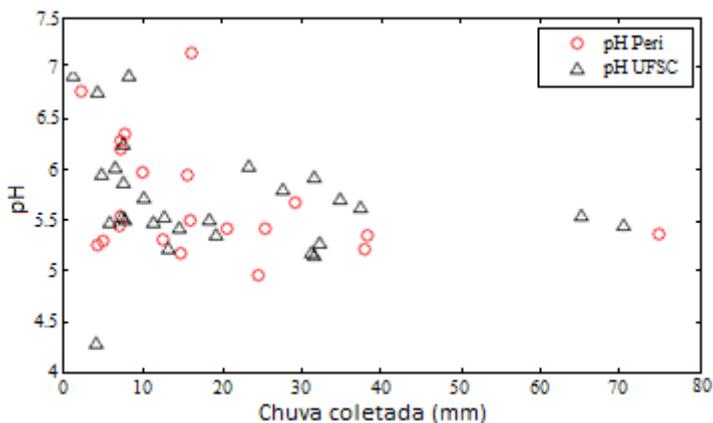


Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se que as máximas precipitações durante o período de amostragem ocorreram em 29 de novembro no *campus* da UFSC (70,4 mm) e 19 de novembro no Peri (74,9 mm), com durações dos eventos de 12 horas e 14 horas, respectivamente.

Segundo Silva (2006), quanto maior o volume e tempo de precipitação, maior a remoção de poluentes. Assim, para os eventos de máximas precipitações, deste estudo, foram registrados valores de pH baixos ($\text{pH}_{\text{Peri}} = 5,37$, $\text{pH}_{\text{UFSC}} = 5,45$), embora não tenham sido os menores. Para avaliar a existência de correlação entre altura pluviométrica e pH, elaborou-se o gráfico como pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 - Correlação entre altura pluviométrica e pH das águas de chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como é possível notar, neste estudo as alturas pluviométricas influenciam no pH das águas de chuva. Para precipitações de menor altura pluviométrica é possível observar uma grande variabilidade nos valores do pH, em relação as chuvas com grandes alturas pluviométricas. Acredita-se que em precipitações menores as gotas de chuva absorvem continuamente poluentes gasosos e material particulado simultaneamente, o que gera variações na acidez das amostras.

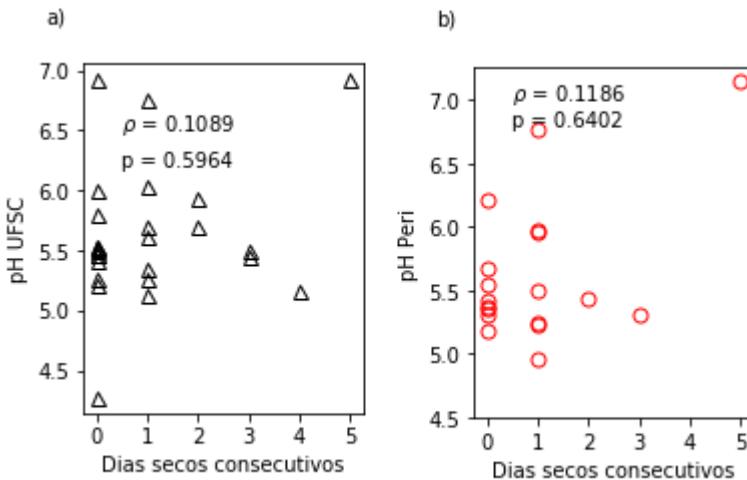
Supõe-se que o mesmo comportamento ocorre nas etapas iniciais da remoção de poluentes por chuvas maiores, onde tanto o material particulado quanto os gases são removidos da atmosfera simultaneamente. É possível que após remover o material particulado da atmosfera, apenas os gases permanecem sendo absorvidos pela precipitação, devido a reposição ininterrupta de poluentes de origem natural, como o dióxido de carbono. Logo, isto acarreta em uma diluição do efeito do material particulado, causando menor variabilidade do pH e elevação da acidez das amostras. Esta hipótese é embasada ao analisar a acidez das precipitações de máxima altura pluviométrica do presente estudo.

4.3 INFLUÊNCIA DE DIAS SECOS NA ACIDEZ DAS ÁGUAS DE CHUVA

O número de dias secos influencia diretamente sobre o pH das amostras de água de chuva, graças ao acúmulo de partículas e gases que se concentram na atmosfera nestes períodos de ausência de precipitação.

Na Figura 22 é possível observar o gráfico entre pH e dias secos consecutivos, bem como a correlação entre os parâmetros.

Figura 22 - Correlação entre dias secos consecutivos e pH das amostras no *campus* da UFSC (a) e Peri (b).

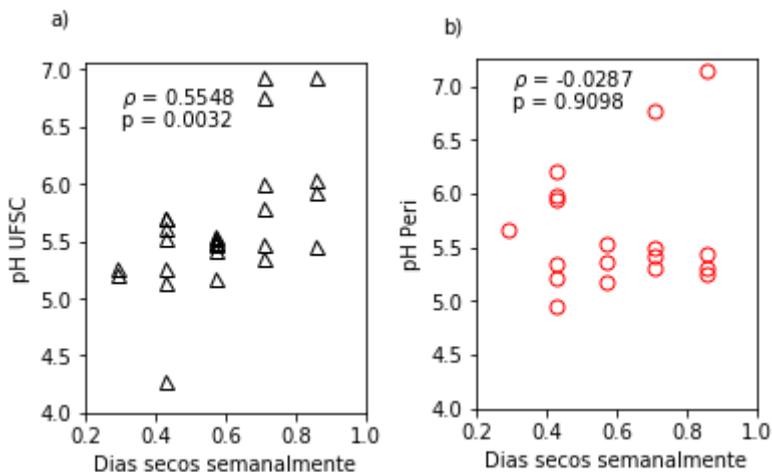


Fonte: Elaborado pelo autor

Por meio do teste de Spearman, foi observado que os parâmetros analisados não possuem correlação estatisticamente significativa. Desse modo, não é possível definir a influência que o número de dias secos consecutivos exerce sobre os pH das águas de chuva na região do Peri ($\rho = 0,1186$, $p = 0,6402$) e nem sequer sobre o *campus* da UFSC ($\rho = 0,1089$, $p = 0,5964$).

Na Figura 23 é possível observar o segundo cenário estudado, o número de dias secos em uma semana.

Figura 23 - Correlação entre a porcentagem de dias secos em uma semana e pH das amostras no *campus* da UFSC (a) e Peri (b).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como para o primeiro cenário discutido, o pH das precipitações da região do Peri não apresentou significância estatística com o parâmetro dias secos em uma semana, mediante teste de correlação de Spearman ($\rho = -0,0287$, $p = 0,9098$). Esta insignificância estatística pode estar atrelada ao fato de os dados de chuva terem sido obtidos através do pluviôgrafo situado na estação meteorológica do *campus* da UFSC. Na Universidade, o teste apresentou correlação significativa ($\rho = 0,5548$, $p = 0,0032$). É importante atentar ao fato, de que o aumento dos dias secos durante a semana implicou em um aumento do pH. Ou seja, assim como no trabalho de Mello (2001), neste estudo, é possível observar que o acúmulo de partículas na atmosfera pode exercer um caráter neutralizante aos gases atmosféricos absorvidos na água da chuva.

Assim, decidiu-se investigar a influência do Material Particulado na acidez das águas de chuva.

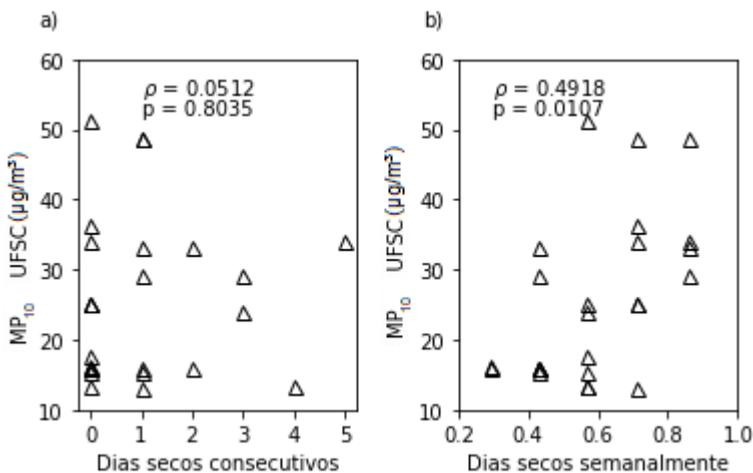
4.4 RELAÇÃO ENTRE MATERIAL PARTICULADO (MP₁₀) E pH DAS ÁGUAS DE CHUVA

As águas da chuva, de certa forma, retratam as características da massa de ar, no que diz respeito ao conteúdo de partículas e gases solúveis

em água durante a precipitação. Sendo assim, é fundamental determinar as concentrações de MP presentes na atmosfera, para melhor compreender os fenômenos que ocorrem durante a remoção de poluentes atmosféricos.

Sendo assim, julgou-se necessário analisar influência do MP₁₀ no pH das águas de chuva na cidade de Florianópolis. A partir de dados obtidos do monitoramento da concentração de Material Particulado no *campus* da UFSC, conduzido pela equipe do LCQAr, foi possível correlacionar os parâmetros em questão. Primeiramente, investigou-se o comportamento da concentração de Material de Particulado nos dias secos, como pode ser visto na Figura 24.

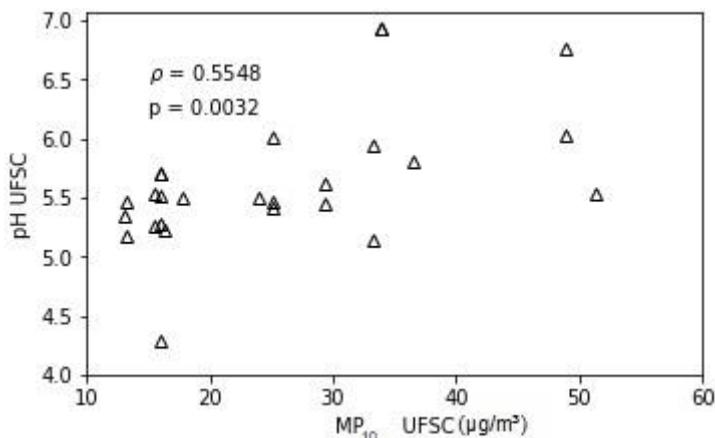
Figura 24 - Correlação entre concentração de MP₁₀ no *campus* da UFSC e número de dias secos consecutivos (a), e a porcentagem de dias secos em uma semana (b).



Fonte: Elaborado pelo autor

Por meio do teste de Spearman, verificou-se a existência de correlação significativa entre a concentração de Material Particulado e dias secos semanalmente ($\rho = 0,4918$, $p = 0,0107$). Assim como para o pH, a concentração de MP₁₀ aumenta com o aumento de dias secos. Estas informações sugerem que há elementos presentes no Material Particulado que neutralizam o pH das águas de chuva. Portanto, para avaliar o impacto do MP₁₀ sobre o pH das precipitações, elaborou-se o gráfico, como consta na Figura 25.

Figura 25 - Correlação entre MP_{10} e pH das águas de chuva, no *campus* da UFSC.



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, embasado pelas informações fornecidas pelo gráfico e pelo teste de correlação de Spearman ($\rho = 0,5815$, $p = 0,0012$), é possível que o MP_{10} presente na atmosfera do *campus* da UFSC apresente caráter alcalino. Logo, o MP_{10} atua na neutralização do pH das águas de chuva. Em razão de não contarmos com análise da composição química das águas de chuva, supõem-se que as partículas alcalinas presentes no MP_{10} sejam provenientes de ressuspensão do solo e das emissões automotivas de amônia (NH_3). Substância esta, que em solução aquosa combina-se com um dos hidrogênios da água, formando o cátion amônio e o radical hidroxila ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$), possuindo, desta forma, propriedade capaz de neutralizar a acidez das águas de chuva.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As águas de chuva apresentaram, na maioria dos casos registrados, valores de pH inferiores a 5,65 indicando características de chuvas levemente ácidas. As medidas de pH das águas de chuva do Peri variaram entre os intervalos de 4,95 a 7,15, enquanto no *campus* da UFSC variaram entre 4,28 e 6,93. A partir das análises realizadas constatou-se grande similaridade entre a acidez das precipitações em ambos locais, nos fazendo crer que tanto a região do Peri, quanto o *campus* da UFSC são influenciadas por uma mesma fonte de poluição atmosférica, ou seja, ambas sofrem a mesma interferência de fontes naturais e antropogênicas na região.

Foi visto que as direções do vento responsáveis pela maior variação dos pH, bem como menor nível de acidez, foram oeste e norte, respectivamente. Acredita-se que esta ocorrência possa estar associada ao fato de estas direções abrangerem maiores porções continentais, onde estão contidas um maior número fontes responsáveis pela emissão de MP₁₀, que atua na neutralização do pH.

Os resultados apresentados pela altura da base das nuvens demonstram que há um predomínio na limpeza da atmosfera pelo processo *washout*, haja visto sua menor eficiência na remoção de certos poluentes atmosféricos, o que reflete na elevação do pH.

Observou-se que chuvas de baixa altura pluviométrica apresentaram grande variação nos valores de pH, provavelmente associados a absorção simultânea de gases e aerossol. Chuvas de elevada altura pluviométrica demonstraram menor variabilidade no pH e, em média, menor pH.

Analisou-se, também, a influência de dias secos sobre o pH das águas de chuva. Foi possível observar que a variável interfere efetivamente quando há acúmulo de poluentes por intervalos de tempo elevados (entre seis e sete dias). O pH das águas de chuva do *campus* da UFSC demonstrou que a elevação do número de dias secos provocou uma elevação do pH das águas chuva, sugestionando a existência de substâncias na atmosfera que neutralizam as precipitações. Esta hipótese foi, então, reforçada ao estudar a influência do MP₁₀ sobre a acidez das amostras, demonstrando que o Material Particulado atua na neutralização do pH da água da chuva. É possível que este MP₁₀ seja formado a partir das emissões veiculares de amônia e de partículas alcalinas que constituem o solo.

Recomendações podem ser feitas visando a melhoria da qualidade de trabalhos futuros. Entre estas, pode-se citar a aferição da acidez das

amostras logo após a precipitação. Como o pH é um parâmetro altamente sensível, é necessário que as medições sejam realizadas logo após cessarem os eventos chuvosos, para que não haja interferências nos valores causadas por fatores como a temperatura, umidade, etc.

Análise da composição química das águas de chuva. Este reconhecimento é muito importante para compreender quais fontes de poluição exercem maior influência na formação de chuva ácida.

As coletas do presente trabalho foram realizadas entre os meses de outubro de 2017 e março de 2018. Ou seja, a acidez encontrada nas águas de chuva são características principalmente da atmosfera durante o verão. Como recomendação para futuras pesquisas, seria interessante analisar o comportamento da acidez das precipitações durante períodos mais longos, e assim verificar as variações do pH entre as estações do ano.

6 REFERÊNCIAS

AGUDO, A. I. Exotic isolated occurrence of the mussel naiad *Leila blainvilleana* (Lea, 1834) in a freshwater coastal lagoon of the Santa Catarina Island, Southern Brazil. **FMCS Newsletter Ellipsaria**, v. 9, n. 3, p. 10-12, 2007.

AIKAWA, Masahide et al. The contribution of site to washout and rainout: Precipitation chemistry based on sample analysis from 0.5 mm precipitation increments and numerical simulation. **Atmospheric environment**, v. 95, p. 165-174, 2014.

AL-MOMANI, Idrees F. et al. Chemical composition of precipitation near an industrial area at Izmir, Turkey. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 10, p. 1131-1143, 1995.

ARTAXO, Paulo et al. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-22, 2006.

BERNER, Robert A. Addendum to “Inclusion of the Weathering of Volcanic Rocks in the GEOCARBSULF Model” (RA Berner, 2006, V. 306, p. 295–302). **American Journal of Science**, v. 308, n. 1, p. 100-103, 2008.

BIELACZYC, Piotr et al. A comparison of ammonia emission factors from light-duty vehicles operating on gasoline, liquefied petroleum gas (LPG) and compressed natural gas (CNG). **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, v. 5, n. 2012-01-1095, p. 751-759, 2012

BORSARI, Vanderlei; DE ASSUNÇÃO, João Vicente. Ammonia emissions from a light-duty vehicle. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 51, p. 53-61, 2017.

BOUBEL, Richard W. et al. **Fundamentals of Air Pollution**. 3. ed. United States of America: Academic Press, 1994. 574 p.

BRADY, Nyle C.; WEIL, R. R. Nitrogen and sulfur economy of soils. **The Nature and Properties of Soils**, p. 491-523, 1999.

CAMPOS, Vânia P.; COSTA, Angela CA; TAVARES, Tania M. COMPARAÇÃO DE DOIS TIPOS DE AMOSTRAGEM DE CHUVA: DEPOSIÇÃO TOTAL E DEPOSIÇÃO APENAS ÚMIDA EM ÀREA COSTEIRA TROPICAL. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 419, 1998.

CASTRO, MG da S.; TARIFA, J. R. A acidez da chuva na cidade de São Paulo. **São Paulo: GeoWeb, PUC**, 1999.

CECCA - CENTRO DE ESTUDOS CULTURA E CIDADANIA. **Uma cidade numa ilha: relatório sobre os problemas sócio-ambientais da Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, SC: Editora Insular, 248 p., 1996.

CENSO, I. B. G. E (2010). Disponível em:< <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. **Acesso em:** 14 fev 2018.

CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini; BONOTTO, Daniel Marcos. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 4, p. 575-591, 2004.

COWLING, Ellis B. Acid precipitation in historical perspective. **Environmental science & technology**, v. 16, n. 2, p. 110A-123A, 1982.

DAEMME, Luiz Carlos et al. Estudo preliminar sobre a influência do teor de enxofre do combustível na emissão de amônia em motocicletas e veículos leves dos ciclos Otto e Diesel. **Blucher Engineering Proceedings (SIMEA 2013)**, n. 1, 2013.

DAO, Xu et al. Variations of PM 2.5 and its water-soluble ions in Beijing and surrounding cities during the APEC in 2014. **Environmental Chemistry**, v. 34, n. 8, p. 1389-1395, 2015.

DAVIS, Mackenzie Leo *et al.* **Introduction to environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1991.

DETRAN-SC – Departamento Estadual de Trânsito de Santa Catarina (2016). **Frota de veículos por município (mensal)**. Disponível em: <http://www.detran.sc.gov.br/index.php/estatistica/veiculos>. **Acesso em:** 28 mar 2018.

EMPRESA, DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E. EXTENSÃO. RURAL DE SANTA CATARINACENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA-EPAGRI/CIRAM. **Monitoramento dos fenômenos climáticos e seus impactos: climatologia de chuvas. Florianópolis, 2012.**

ENGELMANN, Rudolf J. Scavenging prediction using ratios of concentrations in air and precipitation. **Journal of Applied Meteorology**, v. 10, n. 3, p. 493-497, 1971.

ESTEVES, FA. **Fundamentos de limnologia.** Interciência, 1998.

FABIANO, André. Memória do bairro Trindade em Florianópolis. **ÁGORA: Revista do Curso de Arquivologia da UFSC**, v. 21, n. 43, p. 111-123, 2012.

FERREIRA, Antonio Geraldo; DA SILVA MELLO, Namir Giovanni. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FINLAYSON-PITTS, Barbara J.; HEMMINGER, John C. Physical chemistry of airborne sea salt particles and their components. **The Journal of Physical Chemistry A**, v. 104, n. 49, p. 11463-11477, 2000.

FONZAR, B. C. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente (localização e trajetórias). **Caderno de Geociências, IBGE, Rio de Janeiro**, v. 11, p. 11-33, 1994.

GALVANI, Emerson; DE ALMEIDA SOUZA, Ivonete. Representação gráfica dos elementos do clima: estudo comparativo entre Maringá, PR e Botucatu, SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 19, p. 131-140, 2006.

GONÇALVES, Fábio LT; RAMOS, Andréa Malheiros. ANÁLISE DOS PROCESSOS DE REMOÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DENTRO E ABAIXO DA NUVEM NA REGIÃO DE CUBATÃO. **DADOS**, v. 500, p. 1µm, 2000.

GRAEDEL, T. E.; WESCHLER, C. J.; MANDICH, M. L. Influence of transition metal complexes on atmospheric droplet acidity. **Nature**, v. 317, n. 6034, p. 240, 1985.

HOINASKI, L. et al. Investigation of PM₁₀ sources in Santa Catarina, Brazil through graphical interpretation analysis combined with receptor modelling. **Environmental technology**, v. 34, n. 17, p. 2453-2463, 2013.

HOINASKI, Leonardo et al. Investigation of rainwater contamination sources in the southern part of Brazil. **Environmental technology**, v. 35, n. 7, p. 868-881, 2014.

HOINASKI, Leonardo. **Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de material particulado (MP₁₀)**. 2010. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2010.

HONÓRIO, Benícia de Almeida Dias et al. **Água da chuva na Amazônia Ocidental: química e composição isotópica**. 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2017). **Cidades**. Acessado em 8 mar. 2018, em <http://www.ibge.gov.br>

IPIUF - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO DE FLORIANÓPOLIS. **Plano Diretor do Parque da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC**: IPIUF, Documento técnico, 146 p., 1978.

KAYA, Güven; TUNCEL, Gürdal. Trace element and major ion composition of wet and dry depositon in Ankara, Turkey. **Atmospheric Environment**, v. 31, n. 23, p. 3985-3998, 1997.

KLEEMOLA, Sirpa; SÖDERMAN, Guy. **Manual for Integrated Monitoring: Programme Phase 1993-1996**. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. **International Co-operative Programme on Integrated Monitoring on Air Pollution Effects**. Environment Data Centre, National Board of Waters and the Environment, 1993.

KEENE, William C.; GALLOWAY, James N.; HOLDEN, J. David. Measurement of weak organic acidity in precipitation from remote areas

of the world. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 88, n. C9, p. 5122-5130, 1983.

KLEINMAN, Lawrence I. **Regional scale Lagrangian nonlinear chemistry model for acid deposition**. Brookhaven National Lab., Upton, NY (USA), 1984.

Knihs V. W. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA NOLITORAL CATARINENSE: ESTUDO DE CASO NAS CIDADES DEBALNEÁRIO CAMBORIÚ, CAMBORIÚ E FLORIANÓPOLIS. **XXII SBRH**. 2017.

LAMB, Dennis; BOWERSOX, Van. The national atmospheric deposition program: an overview. **Atmospheric Environment**, v. 34, n. 11, p. 1661-1663, 2000.

LAPOLLI, E. M.; MOREIRA, J. C.; ZARDO, S. M.; VIEIRA, V. F. **Carta dos elementos do meio ambiente – Parque da Lagoa do Peri**, Florianópolis, SC: LARS/SC, Memorial descritivo, 24 p.,1990

LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G. P.; FERRAZ, E. S. B.; BALLESTER, M. V.; **Atmospheric Environment**. 2001, 35, 4937.

LEAL, Tatiana FM et al. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 855-861, 2004.

LIVINGSTON, Cody; RIEGER, Paul; WINER, Arthur. Ammonia emissions from a representative in-use fleet of light and medium-duty vehicles in the California South Coast Air Basin. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 21, p. 3326-3333, 2009.

MARSH, A. R. W. Sulphur and nitrogen contributions to the acidity of rain. In: **Sulfur in the Atmosphere**. 1978. p. 401-406.

MARTINS, Renata Fátima *et al.* **Avaliação da qualidade das águas de chuva de Florianópolis, Tubarão, Criciúma e São Martinho, com ênfase na caracterização das influências marinhas e continentais simuladas utilizando o modelo hysplit**. 2008.

MELLO, W. Z. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental pollution**, v. 114, n. 2, p. 235-242, 2001.

MIGLIAVACCA, Daniela Montanari et al. Analysis of the sulfate aerosol scavenging processes in the metropolitan area of Porto Alegre (MAPA), RS, Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, v. 1, n. 2, p. 82-93, 2010.

MIGLIAVACCA, Daniela Montanari et al. Composição química da precipitação atmosférica no sul do Brasil: estudo preliminar. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 371-379, 2005.

MIGLIAVACCA, Daniela Montanari. **Estudo dos processos de remoção de poluentes atmosféricos e utilização de bioindicadores na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS**. 2009

MIRLEAN, Nicolai; VANZ, Argeu; BAISCH, Paulo Roberto Martins. **Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS**. 2000.

MONTEIRO, Maurici Amantino. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

MUNDIAL, Banco. **Pollution Prevention and Abatement Handbook**. In: Pollution prevention and abatement handbook. World Bank, 1998.

MURARA, Pedro Germano dos Santos et al. **Variabilidade climática e doenças circulatórias e respiratórias em Florianópolis (SC): uma contribuição à climatologia médica**. 2012.

PENTEADO, Renato; DAEMME, Luiz; MELO, Tadeu. **An experimental investigation on regulated and unregulated emissions from four 4-stroke gasoline-powered motorcycle**. SAE Technical Paper, 2012.

PEREIRA, M. A. Diagnóstico físico e sócio ambiental do Parque Municipal da Lagoa do Peri. Subsídios ao plano de manejo. Florianópolis, SC: UFSC, **Dissertação de Mestrado em Geografia, Utilização e Conservação de Recursos Naturais**, 243 p., 2001.

POLI, C. R., SILVEIRA Jr., N.; SILVA, F. C.; POLI, A. T. B.; QUEIROZ, C. M. S. Análise ambiental Lagoa do Peri – Ecossistema Aquático. Florianópolis, SC, AQUI/CCA/UFSC –LARS/SC, **Relatório técnico**, 34 p., 1989.

RENDELUCCI, F. Eletrólitos: Soluções que permitem a passagem de corrente elétrica. 2005. [http://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/eletrolitos-solucoes-que-permitem-a-passagem-de-corrente-eletrica. htm](http://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/eletrolitos-solucoes-que-permitem-a-passagem-de-corrente-eletrica.htm)>. Acesso em, v. 12, p. 12, 2018.

SANTOS, G. S. dos S.; MENDONÇA, J. T. N. da M. & VEADO, R. W. ad-V. Análise ambiental da Lagoa do Peri. **Geosul**, v. 4, n. 8, p. 101-123, 1989.

SANUSI, Astrid et al. Chemical composition of rainwater in eastern France. **Atmospheric environment**, v. 30, n. 1, p. 59-71, 1996.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2015. 165 p.

SCAPINI, 2016. PADRÕES, NACDEFÇO; DE QUALIDADE, D. O. A. R. X-017–**COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE MP₁₀ MONITORADAS**.

SCHARLIN, Pirketta et al. Solubility of gases in water: correlation between solubility and the number of water molecules in the first solvation shell. **Pure and applied chemistry**, v. 70, n. 10, p. 1895-1904, 1998.

SCHRODER, L. J. et al. The chemical composition of precipitation, dew and frost, and fog in Denver, Colorado. In: **Atmospheric Deposition: Baltimore, Md., Proceedings of the Baltimore Symposium**. 1989. p. 83-90.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Chemistry of the atmospheric aqueous phase. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**, v. 337407, 1998.

SILVA, Mariana Palagano Ramalho. **Modelagem numérica dos processos de remoção úmida de poluentes atmosféricos: estudo de**

caso para a região amazônica (Rondônia). 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo (IAG/USP).

SILVEIRA, RAFAEL BRITO; ALVES, MAIKON PASSOS AMILTOS; MURARA, PEDRO. **ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS NO LITORAL DE SANTA CATARINA.** 2013

SOUZA, P.A.; de MELLO, W.Z.; MARIANI, R.L. & SELLA, S.M. **Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP).** *Química Nova*, 2010.

SOUZA, Patricia Alexandre et al. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. *Química Nova*, v. 29, n. 3, p. 471-476, 2006.

TADDEI, Renzo. A comunicação social de informações sobre tempo e clima: o ponto de vista do usuário. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia (BSBMET)*, Ago-Dez, p. 76-86, 2008.

TRESMONDI, Ana Claudia Camargo de Lima *et al.* **Qualidade do ar na área de influência do pólo industrial de Paulínia-SP: 2000-2002.** 2003.

TUNCER, Burcu et al. Ionic composition of precipitation at the Central Anatolia (Turkey). *Atmospheric Environment*, v. 35, n. 34, p. 5989-6002, 2001.

TURCO, Richard P. **Earth under siege: From air pollution to global change.** Oxford University Press, 1997.

USEPA, U. S. Environmental Protection Agency (2004). **A Consolidated Emissions Modeling System for MOBILE6 and NONROAD**, US Environmental Protection Agency, Office of Transportation and Air Quality, National Mobile Inventory Model (NMIM), 1992.

Vanloon, G.W. and S.J. Duffy (2000): in “**Environmental chemistry**” A Global perspective, Oxford. New York

VENDRAMINI, E.Z. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico**, 1986. 110p. Tese

(Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 1986.

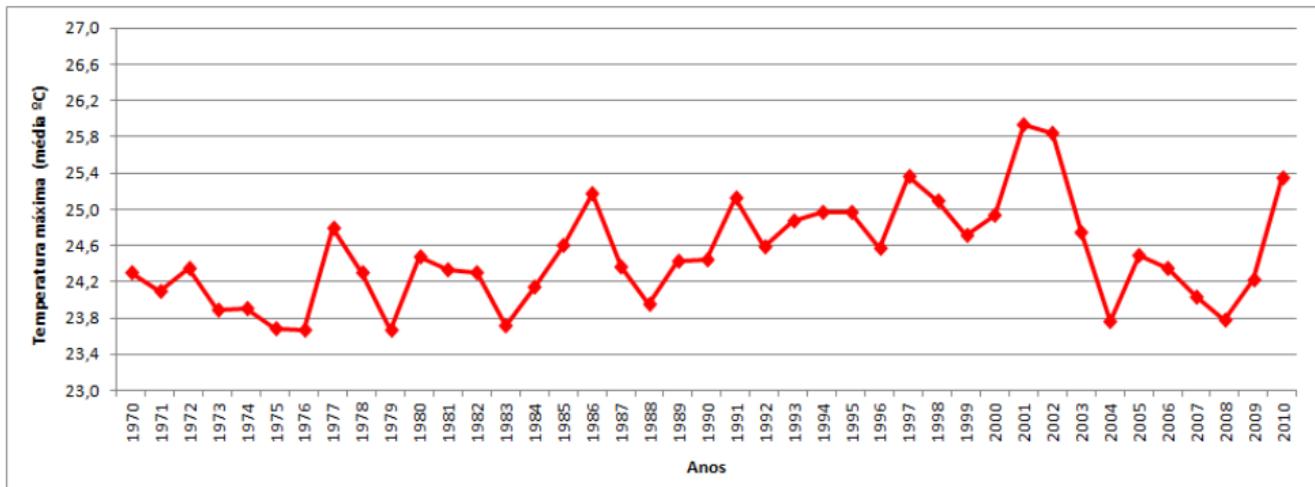
VIANELLO, R. F.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. **Vijosa, Univ. Federal de Vijosa**, 2000.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION; **Guidelines for air quality**. Geneva, 2000.

WILLIAMS, M. R.; FISHER T. R.; MELACK J. M. 1997. Gemical Composition and Deposition of Rain in the Central Amazon, Brasil. **Atmospheric Environment**, 31(2), 207-217.

ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS ENTRE 1970 E 2010.

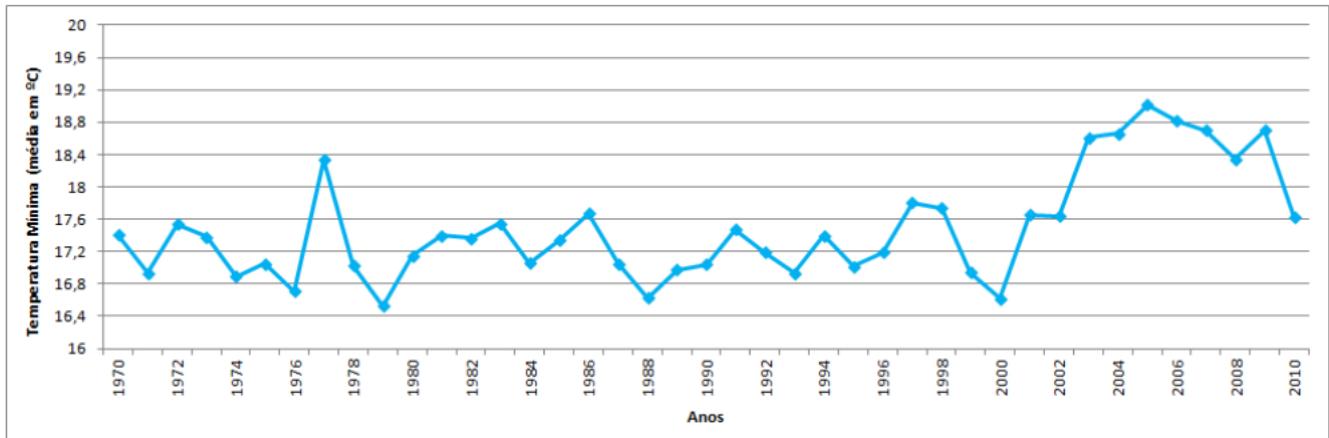
Figura 26 – Comportamento médio das temperaturas máximas no município de Florianópolis entre os anos de 1970 e 2010



Fonte: CIRAM.

ANEXO B – DISTRIBUIÇÃO MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS ENTRE 1970 E 2010.

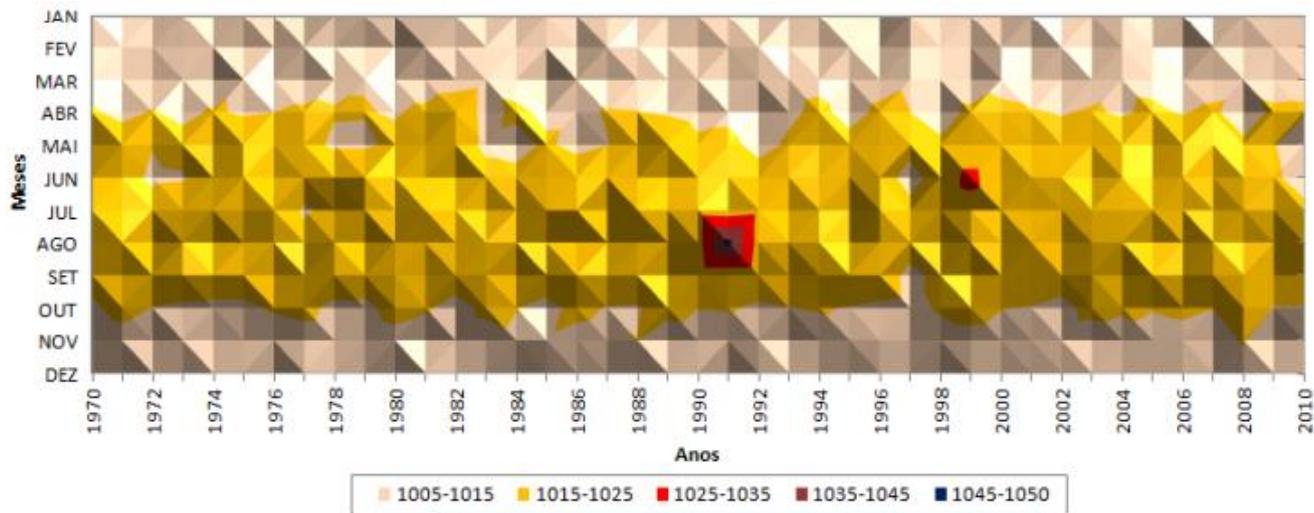
Figura 27 - Comportamento médio das temperaturas mínimas no município de Florianópolis entre os anos de 1970 e 2010



Fonte: CIRAM.

ANEXO C – DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO PERÍODO ENTRE 1970 E 2010.

Figura 28 - Comportamento da pressão atmosférica no município de Florianópolis entre os anos de 1970 e 2010



Fonte: CIRAM.

ANEXO D – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE FLORIANÓPOLIS 1981-2010

Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros meteorológicos para o município de Florianópolis entre os anos 1981 e 2010

Meses	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Pressão atm. (hPa)	Intensidade do vento (m/s)	Componente Zonal do vento (m/s)	Componente Meridional do vento (m/s)	Nº dias precipitação ≥ 1 mm.
Jan.	28,90	21,40	1011,2	3,6	-0,9	0,3	16
Fev.	29,30	21,60	1012,3	3,5	-0,7	0,5	15
Mar.	28,70	20,80	1012,5	3,4	-0,7	0,7	14
Abr.	26,60	18,50	1014,7	3,1	-0,4	0,4	9
Mai.	23,90	15,30	1016,7	2,9	-0,2	0,4	9
Jun.	21,90	13,50	1017,2	2,9	-0,1	0,1	7
Jul.	21,00	12,90	1019,4	3,0	-0,4	0,2	9
Ago.	21,50	13,40	1018,7	3,3	-0,5	-0,1	7
Set.	22,00	15,20	1017,5	3,8	-0,6	0,5	11
Out.	23,90	17,20	1015,2	4,0	-0,9	0,4	13
Nov.	26,00	18,60	1012,2	4,0	-0,9	0,1	13
Dez.	28,00	20,30	1011,5	3,9	-0,9	0,3	12

Fonte: INMET.

APÊNDICE A – COLETAS DE ÁGUA DE CHUVA DURANTE O PERÍODO DE AMOSTRAGEM

Tabela 9 - Medidas de pH, precipitação e temperatura, coletadas a cada evento amostrado no Peri e *campus* da UFSC.

Data da chuva	Local	Precipitação (mm)	pH	Temperatura (°C)
02/10/2017	UFSC	13,8	5,26	24,1
	Peri	15,5	5,95	23,8
08/10/2017	UFSC	7,3	5,53	23,9
	Peri	7,1	5,54	24,1
22/10/2017	UFSC	7,4	6,24	23,3
	Peri	7,2	6,28	23,4
25/10/2017	UFSC	7,4	5,87	22,8
	Peri	7,6	6,35	23,4
05/11/2017	UFSC	31,5	5,92	23,3
	Peri	20,5	5,42	23,3
08/11/2017	UFSC	4,8	5,94	23,7
	Peri	7,0	5,44	24,0
12/11/2017	UFSC	31,5	5,14	23,8
	Peri	24,4	4,95	23,8
19/11/2017	UFSC	65,2	5,54	23,9
	Peri	74,9	5,37	23,7
29/11/2017	UFSC	70,4	5,45	23,1
	Peri	40,9	5,30	18,3
04/12/2017	UFSC	37,3	5,62	23,4
	Peri	37,8	5,22	23,0
07/12/2017	UFSC	13,1	5,22	23,5
11/12/2017	UFSC	7,6	5,50	23,4
18/12/2017	UFSC	6,5	6,01	23,9
	Peri	12,4	5,31	23,6
19/12/2017	UFSC	5,7	5,47	23,7
20/12/2017	UFSC	14,5	5,42	23,4
	Peri	14,7	5,18	23,8
16/01/2017	UFSC	31,2	5,17	23,3
17/01/2017	UFSC	11,3	5,47	23,2
21/02/2017	UFSC	18,3	5,5	23,1

Data da chuva	Local	Precipitação (mm)	pH	Temperatura (°C)
25/02/2017	UFSC	12,7	5,52	23,4
	Peri	7,2	6,21	24,0
27/02/2017	UFSC	10,0	5,71	23,5
	Peri	9,8	5,98	23,8
28/02/2017	UFSC	4,1	4,28	24,1
01/03/2017	UFSC	32,2	5,27	23,6
	Peri	38,2	5,35	24,0
04/03/2017	UFSC	34,7	5,70	26,7
	Peri	29,1	5,67	27,7
12/03/2017	UFSC	23,3	6,03	26,3
	Peri	4,2	5,25	26,2
14/03/2017	UFSC	4,2	6,76	26,1
	Peri	2,2	6,77	26,4
26/03/2017	UFSC	27,6	5,80	26,6
	Peri	25,4	5,42	26,1
28/03/2017	UFSC	19,1	5,35	23,3
	Peri	15,8	5,50	24,0

APÊNDICE B - DADOS ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS ESTUDADOS

Tabela 10 – Resultados obtidos a partir dos testes estatísticos para as águas de chuva do Peri e *campus* da UFSC

Parâmetros	Teste	Coeficientes estatísticos	Local	
			Peri	UFSC
pH	Intervalo de confiança	IC	5,18	5,32
			5,69	5,74
pH	JackKnife	IC _{JK}	5,06	5,48
			5,40	5,58
Volume	Intervalo de confiança	IC	7,09	6,55
			22,31	19,64
Volume	JackKnife	IC _{JK}	15,89	8,12
			29,22	13,73
pH	Shapiro-Wilk	W	0,8759	0,9094
		p	0,0122	0,0165
pH _{Peri} X	Ansari-Bradley	AB	244,5	244,5
pH _{UFSC}		p	0,2617	0,2617
pH _{Peri} X	Mann-Whitney	U	283,5	283,5
pH _{UFSC}		p	0,3434	0,3434
pH _{Peri} X	Spearman	ρ	0,5100	0,5100
		p	0,0216	0,0216
pH _{UFSC}	Spearman	ρ	-0,2813	-0,3211
		p	0,2166	0,0893
pH x Volume	Spearman	ρ	0,1182	0,1088
		p	0,6402	0,5964
Dias secos consecutivos x pH	Spearman	ρ	-0,0287	0,5547
		p	0,9098	0,0032
Dias secos semanalmente x pH	Spearman	ρ	-	0,0513
		p	-	0,8036
Dias secos consecutivos x MP ₁₀	Spearman	ρ	-	0,4918
		p	-	0,0107

pH x	Spearman	ρ	0,3257	0,3037
Temperatura		p	0,1496	0,1092