



## **X-018 - MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA NO CAMPUS DA UFSC EM FLORIANÓPOLIS, E ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE PARTICULAS COM MODELO HYSPLIT**

**Thiago Vieira Vasques**

Bolsista de Iniciação Científica no Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAr) e graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

**Henrique de Melo Lisboa**

Professor do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e Professor responsável do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr) da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Rua Delfino Conti, s/n - Trindade - Florianópolis – Santa Catarina - CEP: 88040-900 - Brasil - Tel: +55 (48) 3721-7739 / 3721-4993 - e-mail: [vvthiago@hotmail.com](mailto:vvthiago@hotmail.com)

### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos da chuva coletada na região do campus da UFSC em Florianópolis, verificando a possibilidade de encontrar influências marinhas ou continentais através da trajetória de partículas. Para isso foi utilizado o modelo HYSPLIT em modelagem de dispersão para a mesoescala e na escala sinótica.

A atmosfera quando se encontra desprovida de poluentes, o único ácido que influencia o pH das chuvas é o ácido carbônico. Este ácido dissolvido na água pura mantém o pH inferior a 5,65. Na região onde é realizado esse estudo por ser um local urbano e próximo do mar foram encontradas amostras com acidez entre 4,74 e 6,18 e condutividades entre 7 e 50  $\mu\text{S}$  confirmando a ocorrência de chuvas ácidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água de chuva, Chuva ácida, Qualidade do ar, Poluição do ar, HYSPLIT.

### **1. INTRODUÇÃO**

A atmosfera é constituída de gases e serve de meio de transporte para vapores diversos, partículas sólidas e líquidas. Além dos componentes naturais presentes na troposfera, são lançados na atmosfera gases, vapores e partículas, poluentes ou não que, sob diferentes condições meteorológicas de pressão, temperatura, umidade e radiação solar, sofrem reações químicas, formando e removendo poluentes adicionais aos já emitidos.

Junto com o processo de urbanização e o crescimento das cidades tem havido também um aumento da contaminação do meio ambiente. Entre outros agravos, a poluição do ar tem tido posição de destaque. O período de permanência e a concentração dos contaminantes na atmosfera podem atingir grandes parcelas da população, e possuir diversos efeitos, principalmente os negativos, na saúde do ser humano.

O estado de Santa Catarina possui diversas instalações industriais importantes, partindo desde a região sul, conhecida por abrigar grandes termoeletricas e olarias que utilizam como o principal combustível o carvão mineral, até o polo industrial do norte do estado. Recentemente, surgiu um grande interesse da mídia em relatar a problemática que é a qualidade do ar, principalmente por ficar ciente que não é realizado este monitoramento estado pelo órgão estadual responsável.

A água de chuva não tem a pureza que o senso comum lhe atribuiu, mas o fato é que, devido ao aumento da industrialização, somado ao crescente uso de veículos automotores, ela tem se tornado a cada dia mais impura. Parte desta impureza é natural e consiste sobretudo na presença de sais marinhos. A queima das florestas, as fuligens e gases que resultam de atividades antropogênicas também interferem no processo de formação das nuvens, resultando em chuvas ácidas (MARTINS, 2008).

A chuva ácida é uma das consequências da emissão excessiva de poluentes, provocando diversos impactos à saúde do ser humano e ao meio ambiente, sendo assim, um importante parâmetro no estudo da poluição

atmosférica. Dentro desse contexto, torna-se importante a avaliação da acidez das águas de chuva coletadas, identificando as possíveis trajetórias realizadas pelas partículas.

O Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/ENS/UFSC) iniciou as atividades em 2002 com estudos sobre odores como forma de poluição do ar. Desde então, o grupo de pesquisa tem dado ênfase à pesquisa da qualidade do ar atmosférico estudos de dispersão e tratamento de correntes gasosas, incluindo a qualidade da água de chuva.

## **1. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a qualidade da água da chuva através de dados físico-químicos, relacionando-os com os dados meteorológicos e possíveis influências marinhas e continentais através da trajetória de partículas simuladas no modelo HYSPLIT, na região do Campus da UFSC, Trindade, Florianópolis – Santa Catarina.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Amostrar o maior número possível de chuvas ocorridas no Campus da UFSC, auxiliando o projeto em desenvolvimento no Laboratório de Controle de Qualidade do Ar;
- Realizar análises físicas químicas das amostras de água de chuva coletadas;
- Coleta de dados meteorológicos locais;
- Correlacionar dados de qualidade de água de chuva com a trajetória de partículas observada pela modelagem;

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Chuva ácida**

A poluição da atmosfera terrestre é gerada pelo aumento das emissões de substâncias de origem antrópica ou não. Ela está atrelada a diversos efeitos, muitos deles nocivos à saúde de todo o ecossistema, inclusive a saúde humana. A chuva funciona como um mecanismo de limpeza da atmosfera, através da remoção do material particulado, compostos químicos, gases e vapores poluentes.

A chuva é um fenômeno natural que possui grande importância no ciclo hidrológico. Mesmo livre de poluentes a chuva tende a apresentar caráter ácido, com pH em torno de 5,6 devido à presença de ácido carbônico  $H_2CO_3$ , decorrente da absorção do gás carbônico (constituente natural da atmosfera) nas gotas d'água. Entretanto, este nível de acidez não é prejudicial ao meio-ambiente (GALLOWAY et al., 1995).

A principal causa da chuva ácida ocorre pela dissolução de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) na atmosfera. Estes poluentes são, em grande parte, provenientes de atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis em usinas térmicas e automóveis.

Um dos principais problemas da chuva ou da garoa ácidas, é a sua capacidade de danificar o meio ambiente, pois esse processo é capaz de levar animais a morte e destruir diversos habitats e ecossistemas. A saúde humana também pode ser prejudicada devido qualidade ruim da água que pode ser consumida.

A quantidade de substâncias depositadas e/ou transportadas pela chuva é influenciada principalmente pelas emissões locais e regionais, altitude em relação ao nível do mar e condições meteorológicas, como campo de vento e altura da camada de mistura (MARTINS, 2008; MIGLIAVACCA et al, 2005).

### **3.2 Poluição atmosférica e influências meteorológicas**

Em um centro urbano, além dos componentes naturais da troposfera existem diversas substâncias poluentes que sob condições meteorológicas adversas contribuem para o agravamento da poluição do ar. As fontes poluidoras podem ser classificadas como fontes móveis (automóveis) ou fontes fixas (indústrias).

Os principais gases tóxicos emitidos diretamente pelas fontes antrópicas para a atmosfera em centros urbanos e industriais são: os NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio), SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre), CO (monóxido de carbono), CO<sub>2</sub> (gás carbônico), NH<sub>3</sub> (amônia), CH<sub>4</sub> (metano), COV (Compostos Orgânicos Voláteis) e Material Particulado (MP). Já os gases mais importantes de origem secundária são o ozônio (O<sub>3</sub>) e os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) (HOINASKI, 2010).

O tempo de permanência de uma partícula na atmosfera é determinado pelo seu tamanho e pelas condições meteorológicas. Partículas inaláveis possuem diâmetro inferior a 10µm e levam muito tempo para sedimentar, permanecendo por longos períodos suspensas na atmosfera, podendo ser transportadas para longas distâncias conforme a velocidade do vento, turbulência e estabilidade da atmosfera

Condições meteorológicas, como a inversão térmica com pressões altas e ventos com velocidades baixas, desfavoráveis à dispersão de poluentes contribuem, para a degradação da qualidade do ar, podendo ocorrer episódios particularmente críticos de poluição atmosférica.

### 3.3 Efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde

Em relação à saúde e correlatos, os efeitos vão desde o desconforto até a morte. Os números de doenças aumentam e a busca ao sistema de saúde (centros de saúde, hospitais, pronto socorros) tende a aumentar. Alterações no modo de vida também são afetadas, redução na atenção no trabalho, diminuição no desempenho físico, dores.

As doenças no aparelho respiratório podem ser consequência da poluição do ar (asma, bronquite, enfizema, edema pulmonar, pneumoconioses) afetam grande parte da população, principalmente sendo percebida em pessoas mais sensíveis, como crianças e idosos. Contudo, é importante ressaltar que o tipo e extensão do dano dependem, além das características de toxicidade das substâncias, da dose de poluição recebida pela pessoa e não somente da concentração.

### 3.4 Modelagem matemática

A modelização de dispersão atmosférica consiste numa simulação de como os poluentes atmosféricos se propagam e dispersam. Como os gases tóxicos e o material particulado, principalmente devido ao seu pequeno tamanho, podem se locomover em grandes distâncias, os modelos matemáticos têm atribuições para analisar fenômenos meteorológicos que atuam no processo de dispersão em uma sequência de escalas (microescala, mesoescala e macroescala). Um modelo matemático de dispersão atmosférica é uma ferramenta que pode descrever a fonte de poluição de acordo com a concentração do poluente atmosférico.

Os modelos Lagrangeanos se diferenciam dos Eulerianos, porque utilizam um sistema de referência que segue o movimento de uma partícula na atmosfera. Nos modelos de trajetória das partículas, a dispersão de um poluente é simulada através de movimento de partículas, cujas trajetórias permitem calcular o campo de concentração das substâncias químicas desejáveis, a partir da hipótese básica de que suas trajetórias simulam o percurso das partículas do ar situadas na mesma posição, no instante inicial (MARTINS, 2008) (MOREIRA; TIRABASSI, 2004, p. 160).

### 3.5 Modelo HYSPLIT

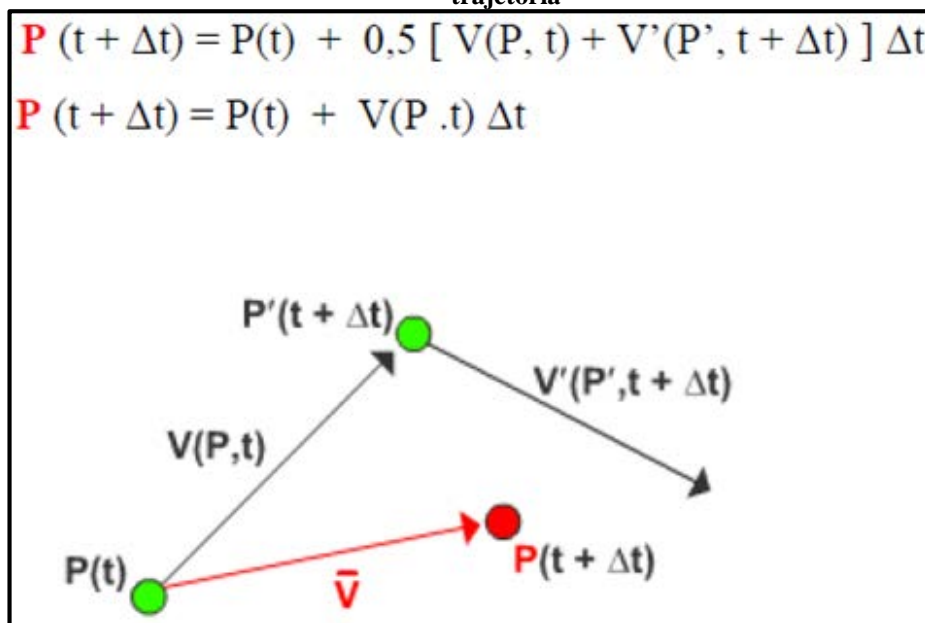
O modelo HYSPLIT é um sistema completo para cálculos, seja de trajetórias simples a simulações complexas de dispersão e deposição química de poluentes atmosféricos. Desenvolvido em conjunto pelo ARL - Air Resources Laboratory, pertencente ao NOAA ("National Oceanic and Atmospheric Administration"), e pelo Departamento Australiano de Meteorologia. O HYSPLIT utiliza aproximações de pluma ou partícula e pode ser rodado on-line na página da NOAA, ou através do download gratuito do software. Segundo Draxler et al (2005), a versão atual (HYSPLIT\_4) atualizou substancialmente seus algoritmos de estabilidade e mistura, sendo capaz de utilizar dados meteorológicos múltiplos e dados de saída de concentração. Futuras atualizações incluirão a assimilação de dados meteorológicos e de concentração de ar medidos localmente (HOINASKI, 2010).

A direção da trajetória (forward e backward), pode ser calculada através de equações diferenciais, apresentando como referencial a variável tempo. A trajetória Forward é calculada em relação aos tempos futuros, e a Backward é calculada a trajetória reversa, ou seja, definida em relação a tempos passados (MARTINS, 2008).

### 3.5.1 Método de cálculo de trajetória

Supondo-se que uma partícula se deixe levar pelo vento passivamente, sua trajetória estará representada através da integral do tempo, em relação ao espaço, do vetor posição (Figura 1). A posição final se calcula a partir da velocidade através da posição inicial (P) e a posição da primeira aproximação (P') (MARTINS, 2008):

**Figura 1: Ilustração dos vetores de posição das primeiras aproximações até posição futura da trajetória**



Onde, P = posição inicial  
P' = posição da primeira aproximação  
P = posição futura (Trajetória)

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

### 4.1 Localização da área de estudo

A área de estudo envolveu o campus da Universidade Federal de Santa Catarina no município de Florianópolis, localizada no litoral do estado de Santa Catarina (Latitude de 27° 35'48" e Longitude: 48° 32' 57" W). Na região do Campus pode observar um tráfego intenso de veículos leves, motos, ônibus e caminhões principalmente em horários considerados de pico.

### 4.2 Amostragem

As amostras de chuva a serem analisadas no desenvolvimento deste trabalho foram coletadas através de um pluviômetro com 100% de material reciclável, desenvolvido no Laboratório de Controle da Qualidade do Ar. O coletor é composto por um recipiente de galão PET com 21,6 cm de diâmetro, com a base cortada, onde foi captada a água da chuva, e a outra extremidade conectada a uma mangueira de ligação até outro galão PET para armazenamento da amostra, conforme ilustrado na Figura 2. A principal razão para ter projetado um coletor com uma área de captação desta grandeza, consiste em obter amostra de chuva durante todo o evento, para que possa ser feito um estudo do evento como um todo, evitando a perda de amostras de chuva em eventos duradouros ou muito intensos.

**Figura 2: Coletor de água de chuva e reservatório de amostra.**



#### **4.3 Metodologia empregada para a coleta das amostras das águas de chuva**

A coleta das amostras ocorreu entre os dias 11/09/2015 e 24/11/2015 para todos os eventos de chuva. Para isso, todo o material utilizado na pesquisa, como frascos, vidrarias e o próprio coletor, são lavados com água deionizada (obtida no LIMA – Laboratório Integrado do Meio Ambiente) através de várias lavagens (4 vezes), para evitar a presença de impurezas que possam afetar os resultados das amostras ou da condutividade.

As amostragens são feitas em todos os eventos de chuva, através de um coletor volumétrico, do tipo pluviômetro (Figura 2). O coletor encontra-se instalado junto a estação meteorológica do campus da Universidade Federal de Santa Catarina, à 1,5m acima da superfície do solo. As áreas adjacentes ao ponto de coleta são abertas, ou seja, não há obstáculos que possam mudar significativamente a direção do vento, ou influenciar na quantidade e qualidade da água da chuva coletada.

A frequência de amostragem ao longo do trabalho, ocorreu por evento chuvoso, com amostras sendo armazenadas e submetidas as análises físico-químicas imediatamente no final de cada evento. O volume de amostra coletada varia dependendo da quantidade e intensidade da chuva. Isto ocorre devido ao fato do pluviômetro possuir uma área equivalente a 216 cm<sup>2</sup>, o que significa que para obter grande volume de amostra é necessária uma boa quantidade de chuva.

#### **4.4 Análise físico-química**

As análises físico-químicas das amostras de chuvas coletadas são realizadas na sala de Manipulação do Laboratório de Controle da Qualidade, situado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

##### **4.4.1 Medidas de Potencial Hidrogeniônico (pH)**

As medidas de pH das amostras de água de chuva serão efetuadas através do método potenciométrico. Será utilizado um pHmetro Lutron-206 (precisão de 0,02 unidades de pH), calibrado quinzenalmente com as soluções tampão de pH7,00 e pH 4,00 (Synth).

Logo após o término de um evento chuvoso, a temperatura, condutividade e o pH da amostra são imediatamente medidos para evitar mudança dos dados reais (Figura 3).



**Figura 3: Medição da temperatura, condutividade e pH na sala de manipulação.**



#### **4.4.2 Medidas de Condutividade**

A condutividade de uma água mede a sua capacidade de conduzir a corrente elétrica. Determinada no vapor condensado, ela permite o julgamento da pureza da água, pois representa uma medida direta de substâncias ionizáveis. A água quimicamente pura é altamente resistente à passagem da corrente elétrica, apresentando uma condutividade extremamente baixa. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. A Condutividade é determinada fisicamente através da medida de resistência específica de uma célula eletrolítica conectada a um circuito externo, constituído de uma ponte de Wheastone, alimentada por uma corrente alternada de baixa voltagem e perfeitamente simétrica. As análises de condutividade serão realizadas através de um condutivímetro Lutron CD 4303 (precisão de 1% da escala), utilizando-se uma micro célula termostatzada a 25°C. As medidas de condutividade serão realizadas imediatamente após a coleta das amostras. A faixa de leitura do instrumento será aferida experimentalmente, comparando a sua resposta com a verdadeira condutância da solução padrão de cloreto de potássio 0,01M (Nuclear, grau P.A). Esta análise segue os procedimentos dos requisitos estabelecidos pelo método American Public Health Association – Standard methods for the examination of water and wastewater.

#### **4.4.3 Filtragem de Amostra**

Ao longo das últimas décadas fizeram crescer a necessidade de filtração de amostras e solventes antes das análises, para assegurar a remoção de contaminantes particulados, a proteção de componentes dos instrumentos, e a redução de custos de manutenção. O uso de cromatografia iônica para análises ambientais e outras aplicações analíticas requer dispositivos para preparação de amostras que não introduzam contaminantes inorgânicos.

Após as análises físicas, todas as amostras são filtradas com filtros de fibra de vidro com diâmetro de 25 mm e porosidade de 0,7mm para posterior análise química. As análises químicas são feitas através da cromatografia líquida e com o uso dos filtros pode-se observar a fuligem presente na amostra.

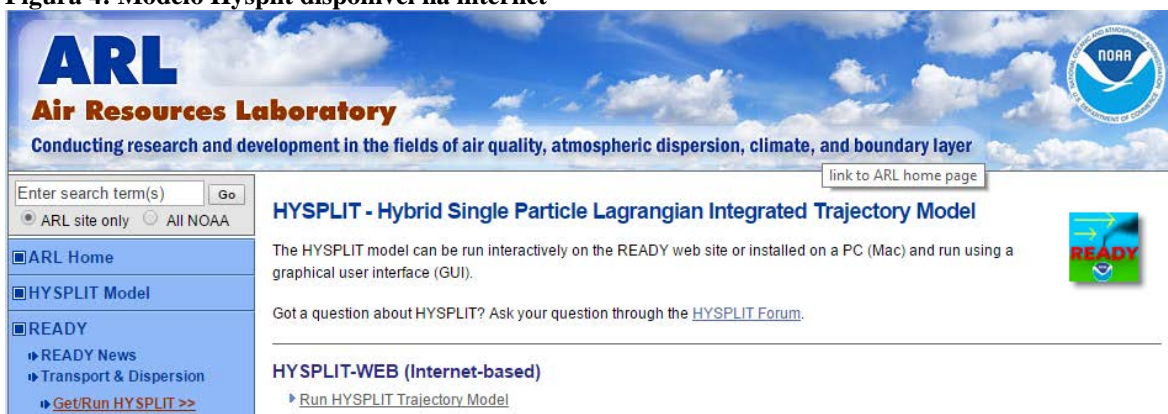
#### **4.5 Aplicação do modelo HYSPLIT**

Para o desenvolvimento dos gráficos das trajetórias reversas das partículas de dispersão de cada evento chuvoso, utilizou-se o modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) – Figura 4. O modelo Hysplit foi rodado on-line, na página da NOAA.

Para o desenvolvimento dos gráficos das trajetórias reversas das partículas, foram inseridas as coordenadas geográficas da cidade de Florianópolis, mais precisamente as coordenadas do aeroporto internacional de Florianópolis para o uso dos dados meteorológicos. Entretanto, as coletas das amostras foram realizadas na UFSC.

As variáveis de entrada para aplicação do HYSPLIT foram inseridas na seguinte sequência: modelo GDAS, ID do aeroporto de Florianópolis (83899), trajetória backward, datas de coleta das amostras, horário aproximado da coleta.

**Figura 4: Modelo Hysplit disponível na internet**



#### 4.6 Estação Meteorológica

A quantidade de precipitação acumulada em milímetros, foi medida através da estação meteorológica que está localizada ao lado da Biblioteca Universitária no campus da UFSC, em Florianópolis. A estação meteorológica (Figura 5) pertence ao Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

**Figura 5: Estação Meteorológica do LCQAr localizada no Campus da UFSC**



## 5.RESULTADOS

No período de setembro a novembro de 2015, coletou-se 19 amostras de águas de chuva na estação do campus da UFSC, no município de Florianópolis. Neste período, analisou-se medidas de pH e condutividade. No Quadro 1 foram destacados os maiores e menores valores, para análise da trajetória de partículas, pela importância desses eventos de chuva no meio ambiente.

**Quadro 1: Parâmetros pH e Condutividade, e seus respectivos dias de coleta. Os maiores e menores valores estão destacados.**

DATA	pH	Condutividade(μS)
11/09/2015	5,09	16,9
17/09/2015	5,11	19
17/09/2015	5,04	37
18/09/2015	4,74	25
21/09/2015	5,67	18
28/09/2015	5,62	9
02/10/2015	5,74	16
05/10/2015	5,04	15
14/10/2015	5,46	13
20/10/2015	5,68	19

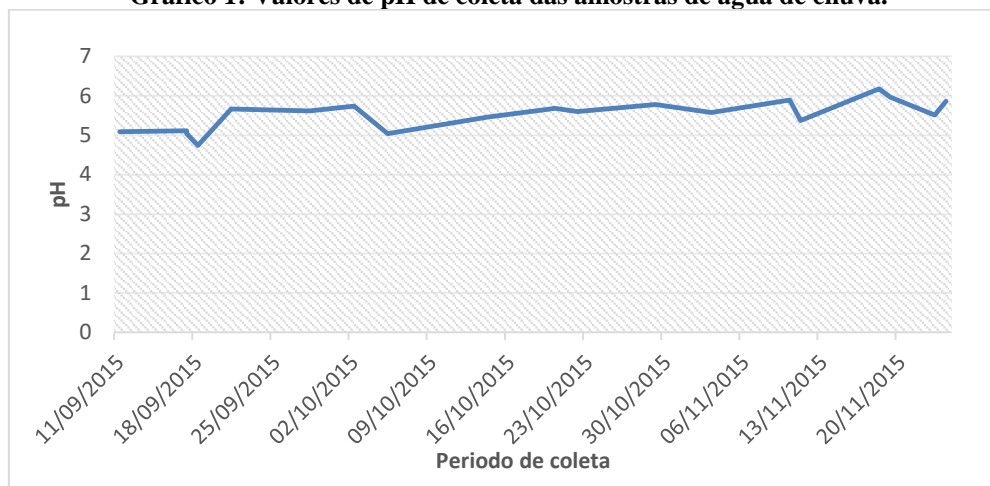
DATA	pH	Condutividade(μS)
22/10/2015	5,6	11
29/10/2015	5,78	19
03/11/2015	5,58	38
10/11/2015	5,89	7
11/11/2015	5,37	26
18/11/2015	6,18	50
19/11/2015	5,97	20
23/11/2015	5,51	23
24/11/2015	5,86	9

Com o objetivo de tentar identificar poluentes que estão sendo retirados da atmosfera através da chuva em Florianópolis, avaliou-se também a trajetória das partículas dos poluentes atmosféricos em alguns eventos de chuva coletado na presente pesquisa, através do modelo Hysplit 4 – Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory. A frequência de amostragem ao longo da pesquisa foi por evento de chuva.

### 5.1 Acidez na água de chuva (pH)

O Gráfico 1 representa os valores de pH das amostras de água de chuva coletadas. Os valores de pH das amostras coletadas variaram de 4,74 encontrado na amostra de chuva do dia 18/09/2015 à 6,18 encontrado na amostra de chuva do dia 18/11/2015. A média aritmética dos valores de pH é 5,52, valor considerado na faixa ácida.

**Gráfico 1: Valores de pH de coleta das amostras de água de chuva.**

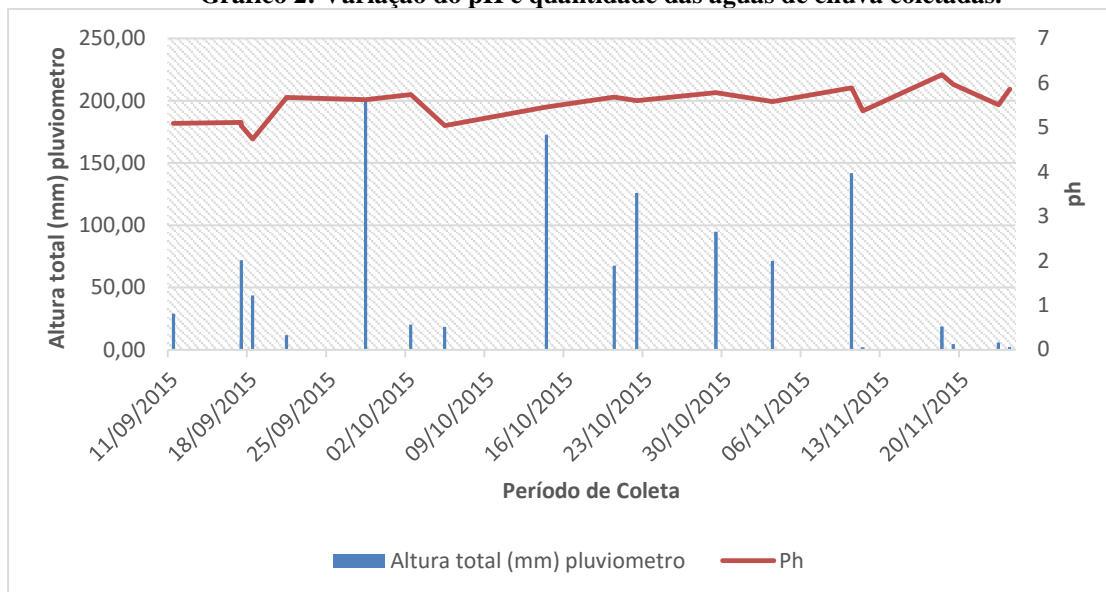


Os valores apresentados acima demonstram um caráter ácido para a maioria dos eventos de chuva coletados.

O Gráfico 2 representa a variação dos valores de pH das águas de chuva coletadas em relação a precipitação acumulada.



**Gráfico 2: Variação do pH e quantidade das águas de chuva coletadas.**



Observou-se que não se pode afirmar que exista uma relação entre as medidas de pH e a quantidade de precipitação, pois valores de pH inferiores a 6,00 foram medidos em quase todos os eventos, com chuvas de diferentes precipitações e quantidade. Os valores de pH na água de chuva de Florianópolis mostraram que existe predominância de chuvas ácidas neste município.

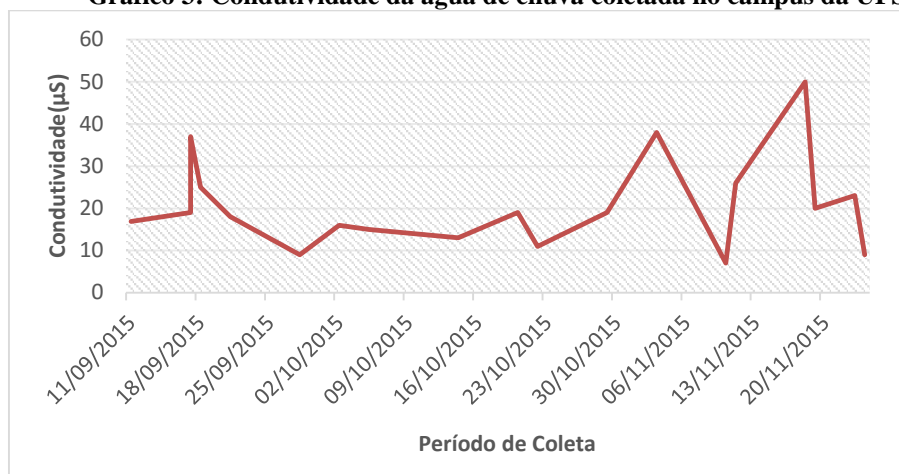
O pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais de maior importância em ecossistemas aquáticos, pois interfere no tipo de comunidade das espécies presentes, na natureza química da água, no balanço de  $\text{CO}_2$  e na solubilidade dos sais.

## 5.2 Condutividade

Os valores de condutividade das águas de chuva para cada evento amostrado, estão representados no Gráfico 3.

O valor mínimo de  $7,00 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  e o valor máximo de  $50,00 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  foram encontrados em amostras de eventos de chuva distintos.

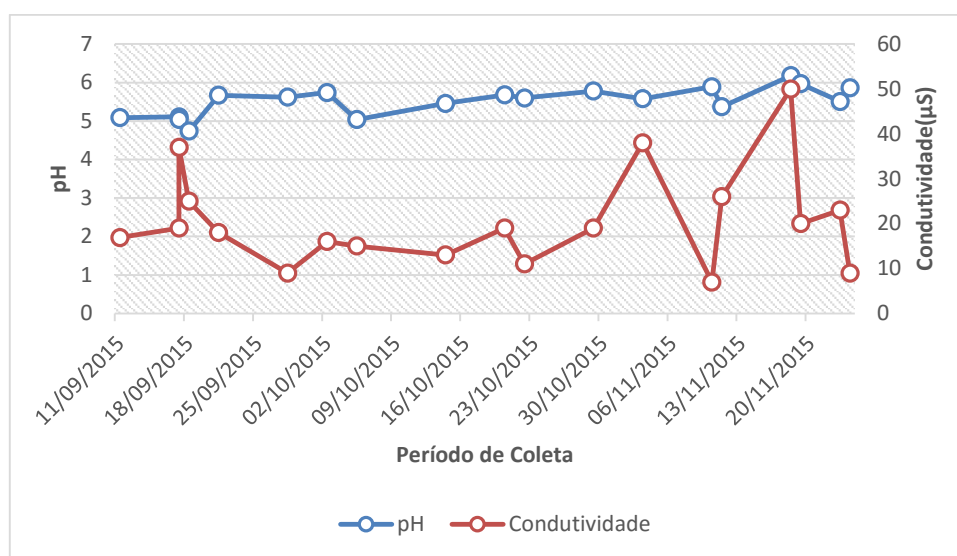
**Gráfico 3: Condutividade da água de chuva coletada no campus da UFSC.**



No Gráfico 4, observou-se que os valores de pH aumentam de acordo com o aumento da condutividade no dia 18 de novembro, o mesmo acontecendo nas amostras dos dias 6 e 20/11/2015 sugerindo a presença de compostos básicos na atmosfera, provavelmente de aerossóis marinhos, tendo em vista a localização da cidade.

Quando o pH aumenta a condutividade tende a diminuir proporcionalmente. Isto significa que os sais dissolvidos apresentam características básicas, ou seja, acabam por neutralizar a solução. Quando o pH diminui e a concentração dos sais dissolvidos aumenta, a condutividade tende a aumentar devido ao maior número de moléculas ionizadas, isto indica que eles possuem características ácidas (MIRLEAN et al., 2000).

**Gráfico 4: Relação entre pH e condutividade das amostras de água de chuva coletadas no campus da UFSC.**

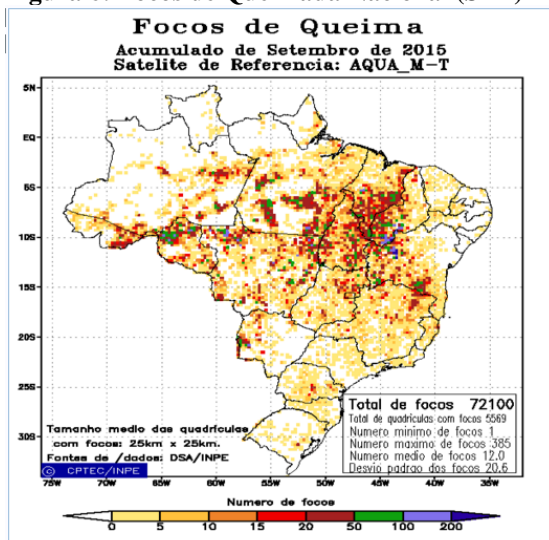


### 5.3 Análise da trajetória de partículas

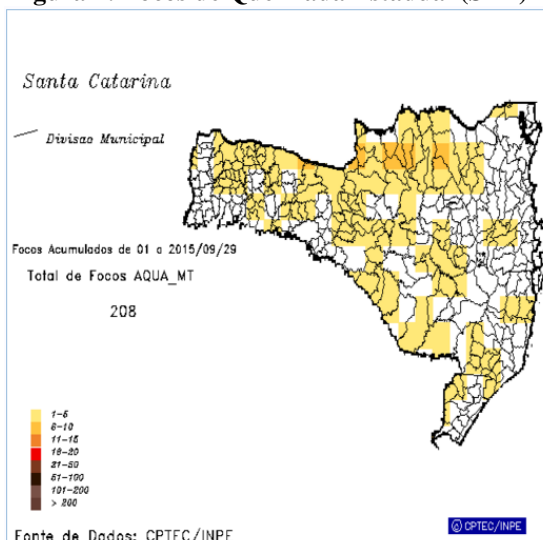
Neste item, serão apresentados os resultados das trajetórias das partículas, simuladas para os eventos de chuva mais irregulares, como os das amostras de maiores e menores potenciais Hidrogeniônico e maiores e menores condutividades, através do modelo de dispersão HYSPLIT. Essas trajetórias, junto com as análises de pH, condutividade e dos filtros utilizados pode-se apresentar possíveis hipóteses da ocorrência de chuvas ácidas.

Além da emissão direta de poluentes pela ação industrial, a ocorrência de queimadas em grande parte do território nacional pode emitir partículas por grandes distâncias e longos períodos de tempo. As figuras 6 e 7 mostram os focos de queimadas no território nacional e no estado de Santa Catarina no mês de setembro, respectivamente. As figuras 8 e 9 mostram os focos de queimadas no território nacional e no estado de Santa Catarina no mês de outubro, respectivamente.

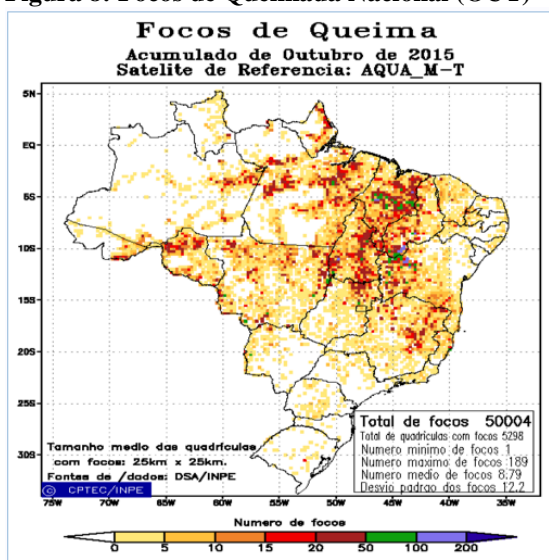
**Figura 6: Focos de Queimada Nacional (SET)**



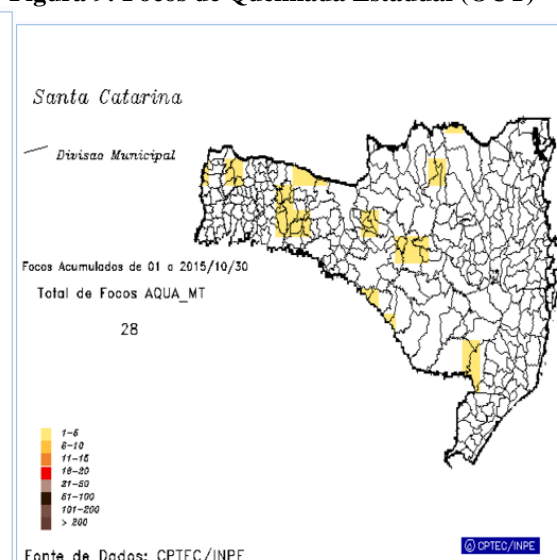
**Figura 7: Focos de Queimada Estadual (SET)**



**Figura 8: Focos de Queimada Nacional (OUT)**



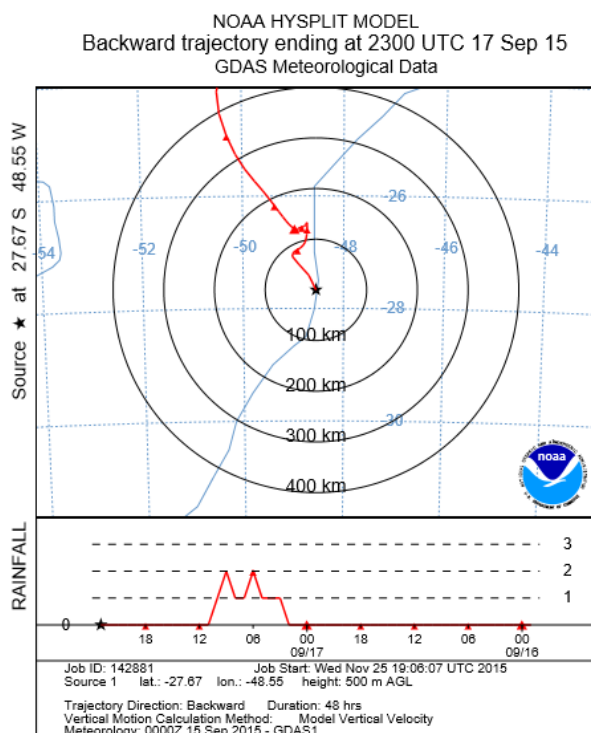
**Figura 9: Focos de Queimada Estadual (OUT)**



### 5.3.1 Trajetória das partículas para o evento do dia 17/09/2015 às 23 horas

As trajetórias das partículas que possam ter influenciado a qualidade da água de chuva coletada no dia 17/09/2015 às 23:00 horas estão representadas nas figuras 10 e 11.

**Figura 10: Trajetória de Partículas**



**Figura 11: Trajetória de Partículas, em Arcgis**



Observou-se que a precipitação ocorreu na madrugada do dia 17/09/2015 e a trajetória de partículas é proveniente do sudeste brasileiro, percorrendo por grandes centros urbanos e pelo polo industrial de Joinville localizado em um raio próximo de 146 km. Observa-se que há presença de fuligem retida no filtro utilizado (Figura 12), condutividade de  $37 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  e o pH de 5,11 indicando uma chuva ácida. No mês de setembro ocorreu inúmeros focos de queimadas podendo ter influenciado no pH obtido, além do particulado lançado no município de Joinville.

**Figura 12: Filtro de fibra de vidro**

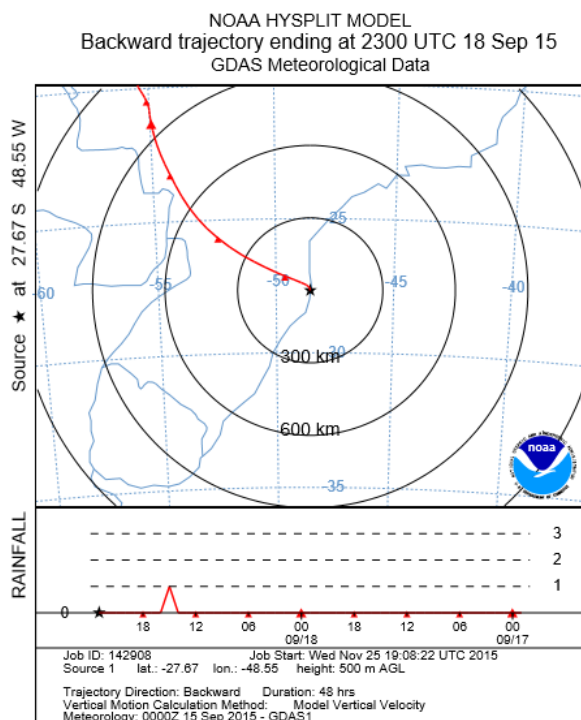


### 5.3.2 Trajetória das partículas para o evento do dia 18/09/2015 às 23 horas

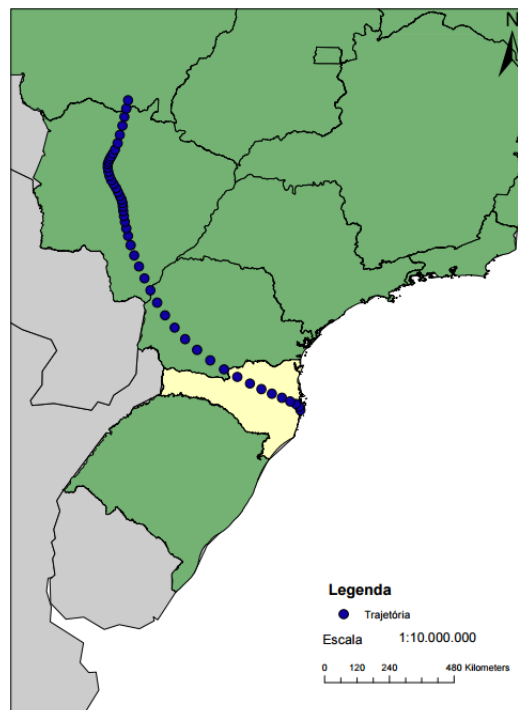
As trajetórias das partículas que possam ter influenciado a qualidade da água de chuva coletada no dia 18/09/2015 às 23:00 horas estão representadas nas figuras 13 e 14.



**Figura 13: Trajetória de Partículas**



**Figura 14: Trajetória de Partículas, em Arcgis**



Observou-se que a precipitação ocorreu no período da tarde do dia 18/09/2015 e a trajetória de partículas é proveniente do centro-oeste brasileiro, percorrendo pelas proximidades do Pantanal e das criações de gado no estado do Paraná. Observa-se que há presença de fuligem retida no filtro utilizado (Figura 15), condutividade de  $25 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  e o pH é o mais baixo coletado de 4,74 - indicando uma chuva ácida decorrente possivelmente da ação antrópica. Esta trajetória leva a hipótese de que as partículas continentais provenientes das queimadas, além da própria poluição regional, gerada pela cidade Florianópolis pode ser o principal causador da chuva ácida na região do Campus da UFSC, neste evento.

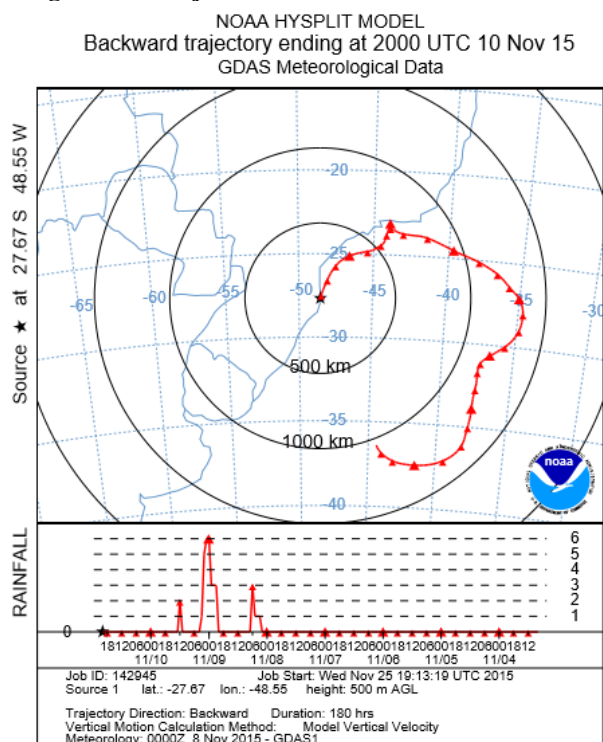
**Figura15: Filtro de fibra de vidro**



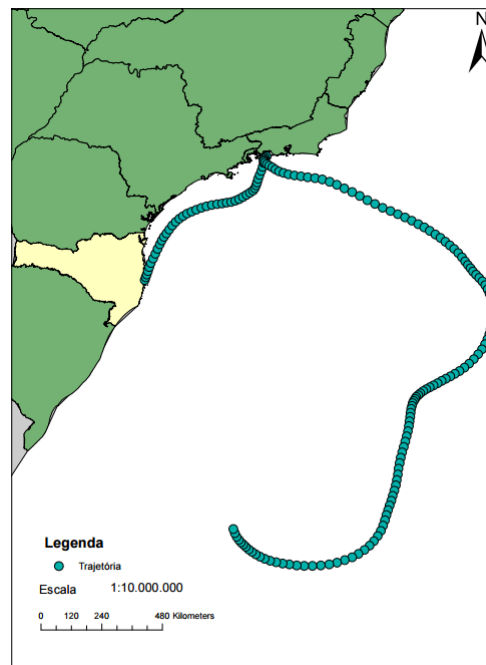
### 5.3.3 Trajetória das partículas para o evento do dia 10/10/2015 às 20 horas

As trajetórias das partículas que possam ter influenciado a qualidade da água de chuva coletada no dia 10/10/2015 às 20:00 horas estão representadas nas figuras 16 e 17.

**Figura 16: Trajetória de Partículas**



**Figura 17: Trajetória de Partículas, em Arcgis**



Observou-se que as precipitações ocorreram nos dias 08/10/2015 e 09/10/2015 e a trajetória de partículas é de origem marítima, percorrendo pela costeira do estado de São Paulo, Paraná e norte de Santa Catarina. Observa-se que há pouca presença de fuligem retida no filtro utilizado (Figura 18). O pH de 5,89 e a menor condutividade encontrada nas amostras, de  $7 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  indicam uma chuva naturalmente ácida. De acordo com esses dados podem-se levantar hipóteses de que as partículas provenientes do mar podem trazer outras substâncias ácidas (como os cloretos) e maior número de sais dissolvidos.

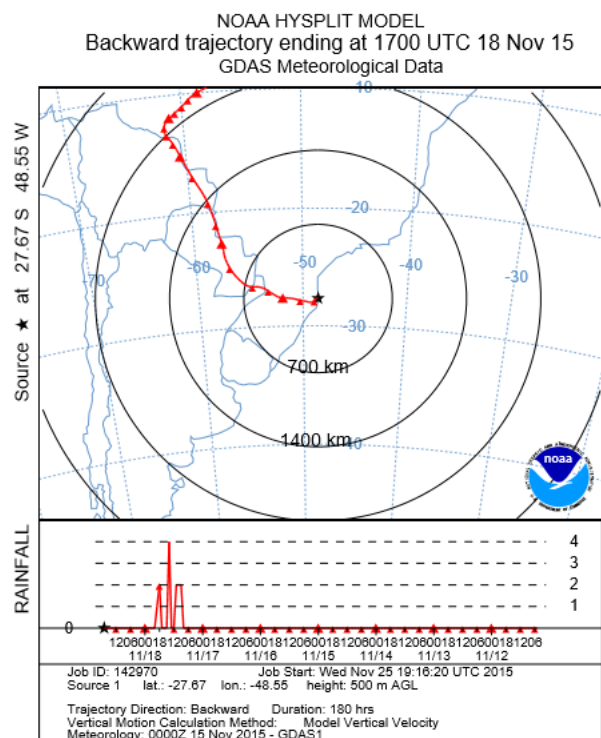
**Figura 18: Filtro de fibra de vidro**



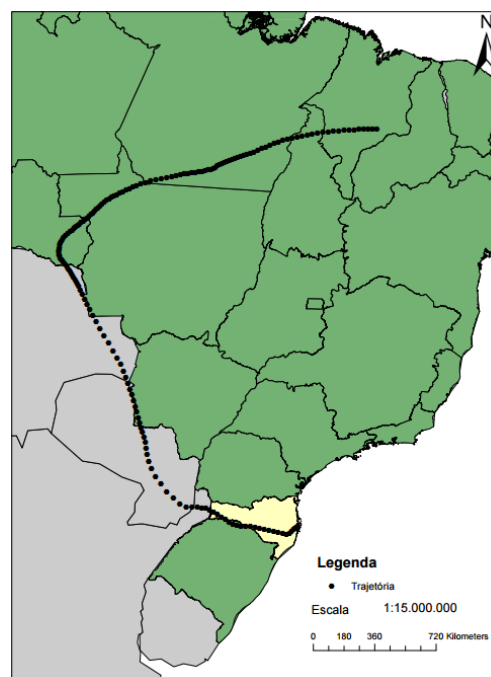
### 5.3.4 Trajetória das partículas para o evento do dia 18/10/2015 às 16 horas

As trajetórias das partículas que possam ter influenciado a qualidade da água de chuva coletada no dia 18/10/2015 às 23:00 horas estão representadas nas figuras 19 e 20.

**Figura 19: Trajetória de Partículas**



**Figura 20: Trajetória de Partículas, em Arcgis**



Observou-se que a precipitação ocorreu durante o dia 17/10/2015 e a trajetória de partículas é proveniente do norte brasileiro, percorrendo por outros países como Bolívia e Paraguai. Observa-se que há bem pouca presença de fuligem retida no filtro utilizado (Figura 21). A condutividade encontrada, de  $50 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  e o maior pH de 6,18 indicam uma chuva neutra.

**Figura 21: Filtro de fibra de vidro**



## 6. CONCLUSÃO

A aplicação de um modelo de transporte e dispersão para as situações investigadas permitiu uma avaliação inicial sobre a origem do impacto dos poluentes nas águas das chuvas coletadas no Campus da UFSC. Os resultados gerados permitem as seguintes conclusões:

- A dinâmica climatológica da região permite o transporte dos poluentes atmosféricos originados em locais distintos até o Campus da UFSC, além da própria emissão de poluentes em microescala;
- A trajetória de partículas tem influência nos sólidos encontrados após a filtragem das amostras, por exemplo, partículas que passam por grandes centros urbanos polos industriais e regiões de queimada, observa-se que há presença de fuligem;
- As amostras com características mais ácidas são provenientes de uma trajetória de partículas continental, especialmente as que passam por atividades antrópicas, tanto industriais, ~~de transporte de veículos~~ como de queimadas;
- Como o presente estudo realizou uma abordagem inicial e simplificada, através de uma modelagem simples e com limitação de informações, não foi possível abranger os diversos fatores que influenciam no processo de transporte e dispersão de poluentes influenciadores da qualidade da água de chuva.

Portanto, diante dos resultados já apontados pelo presente estudo, pode-se sugerir algumas recomendações:

- Realizar estudo mais aprofundado, abrangendo maior espectro de variáveis, principalmente meteorológicas, que influenciem o processo de transporte dos poluentes, de forma a considerar maior diversidade de cenários que possam influenciar na poluição atmosférica. A avaliação da característica da poluição e seu possível impacto sobre a população desta área.
- Realizar estudo sobre os impactos dos poluentes atmosféricos presentes na chuva no campus da UFSC, uma vez que o modelo utilizado permite resultados em plataforma GIS, buscando relações entre poluição atmosférica, chuva e qualidade da água.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DRAXLER, R.; STUNDER, B.; ROLPH, G.; TAYLOR, A. HYSPLIT\_4 User's Guide: Model access via NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 2005. Version 4.7.
2. GALLOWAY, J. N.; Schesinger, W. H.; Levy II, H. L.; Michaels, A.; Schnoor, J. L.; **Global Biogeochem. Cy.** 1995, 9:235.
3. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model). <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>
4. HOINASKI, Leonardo. Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de material particulado inalável (MP10). 2010. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
5. INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Monitoramento de queimadas e Incêndio. [http://www.inpe.br/queimadas/dados\\_antecedentes.php](http://www.inpe.br/queimadas/dados_antecedentes.php) Acesso: 24/11/2015 19:02
6. MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P.; Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. *Química Nova*, 23(5). 590-594, 2000.
7. MARTINS, Renata Fátima. 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. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.
8. MIGLIAVACCA, D. M., TEIXEIRA, E. C. e MACHADO, A. C.M.; Composição química da precipitação atmosférica no Sul do Brasil, *Química Nova*, Vol. 38, nº. 3, 371-379, 2005.
9. MOREIRA, D., TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. *Revista Ambiente & Sociedade*, v.7,nº2, p.159-171, 2004.